農業氣象之應用與發展

楊純明　林俊義　林富雄　主編

TARI LIB.
C005323

行政院農業委員會　農業試驗所

中華農業氣象學會

中華民國九十年七月

432.1
46-26

14369

行政院農業委員會農業試驗所特刊第 95 號
ISBN 957-02-8625-3

農業氣象之應用與發展

楊純明 林俊義 林富雄 主編

本書為「農作物生產之新紀元－二十一世紀農業氣象之應用與發展」
研討會論文輯

行政院農業委員會中部辦公室經費補助

行政院農業委員會農業試驗所
出版
中華農業氣象學會

005323

中華民國九十年七月

農業氣象之應用與發展

Applications and Development of Agrometeorology

Taiwan Agricultural Research Institute Publication No. 95
ISBN 957-02-8625-3

Applications and Development of Agrometeorology

Editors

Chwen-Ming Yang, Ph.D.
Agronomist, Taiwan Agricultural Research Institute, COA
Chien-Yih Lin, Ph.D.
Director, Taiwan Agricultural Research Institute, COA
Fu-Hsiung Lin, Ph.D.
Director, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA
/President, Chinese Society of Agrometeorology

Proceedings of the Symposium on New Era of Crop Production—
Applications and Development of Agrometeorology in the 21st Century

Sponsored by
Central Area Office, Council of Agriculture (COA), R.O.C.

Published by
Taiwan Agricultural Research Institute, COA
Chinese Society of Agrometeorology
July, 2001

序

臺灣地區的糧食生產隨著主客觀環境與政策之更迭而有不同階段之演變，目的在於確保糧食之安全供應，以維持政經情勢之穩定與發展。然而，近年來時代與消費型態已出現重大轉變，加上國際間的競爭日益激烈，致使臺灣農業遭逢困境亟待解決與突破。過去臺灣農業的發展以生產為導向，積極追求生產力，屬於數量經濟時代。目前消費者對農產品的高品質與多樣化要求，則將農業轉變為消費導向或市場導向，以避免生產過剩造成穀賤傷農問題。對於小農與拼盤式型態的臺灣農業，更由於自然資源的匱乏，勢必要謀求農業結構與經營型態的轉型，走向高科技與高附加價值方向，才能順應時代變革成功調整為農業知識經濟時代。以『知識經濟的農業』理念來領導臺灣農業的發展，結合知識、科技與創新為一體開發具市場性、高價位的農作物及其產品，則臺灣農業的體質將可徹底改造，臺灣農業困境亦可獲得解套。

氣象的混亂與氣候的異常往往對農業生產、農民生計與國家總體經濟造成嚴重損害，因此氣象的掌握與氣候的預測對農業生產深具影響，而天氣預報與氣候預測更對農耕操作及農產品產銷具有重大意義。現代化的精準農業體系，利用專家系統將大氣一土壤一作物串成一體，整合農耕知識與經驗，容納包括氣象資訊在內的各種環境資訊，經由辨識、判斷及決策過程實施農作物栽培(耕作、施肥、噴藥、灌溉、…等)的精準管理。未來在精準農業體系的運作下，臺灣農業將朝向高科技與高效能時代邁進，以智慧性的生產技術永續農業的經營與發展，並排除對環境與生態的負面破壞，料將臺灣農業帶往更高一層境界。

氣候變遷及環境污染是現階段兩項重要的環境議(問)題，而氣候的變遷依照目前的擬說牽涉了全球溫暖化現象、氣候的異常及氣象的不規則性，將可能導致農業生產區移向極地、增加草原與沙漠面積、減少森林分佈及改變植物相與光合作用效率等而干擾農業生產，影響全球生態系統及環境污染狀況。為降低極端氣象變化與快速氣候變遷對未來農業生產的影響，吾人應當重視相關問題，並加強農業氣象科學之試驗研究，以研提適當的因應對策。行政院農業委員會農業試驗所和中華農業氣象學會有鑑於農業氣象科學對農業生產的重要角色，特舉辦「農作物生產之新紀元一二十一世紀農業氣象之應用與發展研討會」，邀請學者專家專題演講並共同執筆，編輯成「農業氣象之應用與發展」乙書。本書及本項研討會承蒙農委會中部辦公室經費補助，並獲得農試所同仁和中華農業氣象學會會務人員熱心協助，特藉以表示誠摯的感謝。本書籌備時間短蹴，疏漏難免，尚祈不吝指正與指導。

2001 年 7 月　　　　林俊義　林富雄　楊純明

編者/Editors

楊純明，副研究員
行政院農業委員會農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
美國德州農工大學博士

Chwen-Ming Yang, Agronomist
Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute, COA
189 Chung-Cheng Road, Wufeng,
Taichung Hsien 413, Taiwan, R.O.C.
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
Ph.D., Texas A&M University, U.S.A.

林俊義，所長
行政院農業委員會農業試驗所
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: cylin@wufeng.tari.gov.tw
美國普度大學博士

Chien-Yih Lin, Director
Taiwan Agricultural Research Institute, COA
189 Chung-Cheng Road, Wufeng,
Taichung Hsien 413, Taiwan, R.O.C.
E-mail: cylin@wufeng.tari.gov.tw
Ph.D., Purdue University, U.S.A.

林富雄，場長
行政院農業委員會高雄區農業改良場
屏東縣屏東市 900 民生路農事巷 1 號
E-mail: fhlin@mail.kdais.gov.tw
日本國立北海道大學博士

Fu-Hsiung Lin, Director
Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA
1 Nun-Si Lane, Ming-Sen Road, Pingtung,
Pingtung Hsien 900, Taiwan, R.O.C.
E-mail: fhlin@mail.kdais.gov.tw
Ph.D., Hokkaido University, Japan

作者/Contributors

林俊義，所長
行政院農業委員會農業試驗所
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: cylin@wufeng.tari.gov.tw

Chien-Yih Lin, Director
Taiwan Agricultural Research Institute,
Council of Agriculture (COA)
189 Chung-Cheng Road, Wufeng,
Taichung Hsien 413, Taiwan, R.O.C.
E-mail: cylin@wufeng.tari.gov.tw

林富雄，場長
行政院農業委員會高雄區農業改良場
屏東縣屏東市 900 民生路農事巷 1 號
E-mail: fhlin@mail.kdais.gov.tw

Fu-Hsiung Lin, Director
Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA
1 Nun-Si Lane, Ming-Sen Road, Pingtung,
Pingtung Hsien 900, Taiwan, R.O.C.
E-mail: fhlin@mail.kdais.gov.tw

楊純明，副研究員
行政院農業委員會農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

Chwen-Ming Yang, Agronomist
Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute, COA
189 Chung-Cheng Road, Wufeng,
Taichung Hsien 413, Taiwan, R.O.C.
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

黃有才，處長
行政院農業委員會農糧處
臺北市中正區 100 南海路 37 號
E-mail: yu-tsai@mail.coa.gov.tw

Yu-Tsai Huang, Director
Food and Agriculture Department, COA
37 Nan-Hai Road
Taipei 100, Taiwan, R.O.C.
E-mail: yu-tsai@mail.coa.gov.tw

張靜貞，研究員
中央研究院經濟研究所
臺北市南港區 115 研究院路二段 128 號
E-mail: emily@econ.sinica.edu.tw

Ching-Cheng Chang, Research Fellow
Institute of Economics, Academia Sinica
No.128, Section 2, Yen-Chou-Yuan Road
Taipei 115, Taiwan, R.O.C.
E-mail: emily@econ.sinica.edu.tw

陳吉仲，助理教授
中興大學農業經濟系
臺中市南區 402 國光路 250 號
E-mail: mayjune@dragon.nchu.edu.tw

Chi-Chung Chen, Assistant Professor
Department of Agricultural Economics
National Chung-Hsin University
250 Kao-Kuang Road
Taichung 402, Taiwan, R.O.C.
E-mail: mayjune@dragon.nchu.edu.tw

楊晴雯，研究助理
臺灣大學農業經濟系
臺北市大安區 106 羅斯福路四段 1 號
E-mail: emily@econ.sinica.edu.tw

Chin-Wen Yang, Research Assistant
Department of Agricultural Economics
National Taiwan University
No.1, Section 4, Roosevelt Road
Taipei 106, Taiwan, R.O.C.
E-mail: emily@econ.sinica.edu.tw

申雍，教授
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市南區 402 國光路 250 號
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

Yuan Shen, Professor
Department of Soil & Environmental Sciences
National Chung Hsing University
250 Kuo-Kuang Road
Taichung 402, Taiwan, R.O.C.
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

林民生，組長
中央氣象局應用氣象組(第三組)
臺北市中正區 100 公園路 64 號
E-mail: jacklin@cwb.gov.tw

Jack Ming-Sen Lin, Director
Applied Meteorology Division (AMD),
Central Weather Bureau (CWB)
64 Kung-Yuan Road
Taipei 100, Taiwan, R.O.C.
E-mail: jacklin@cwb.gov.tw

廖志翔，科長
中央氣象局應用氣象組農業氣象科
臺北市中正區 100 公園路 64 號
E-mail: lics@marine.cwb.gov.tw

Chih-Shiang Liao, Chief
Agrometeorology Branch, AMD, CWB
64 Kung-Yuan Road
Taipei 100, Taiwan, R.O.C.
E-mail: lics@marine.cwb.gov.tw

梁仁有，技士
中央氣象局應用氣象組農業氣象科
臺北市中正區 100 公園路 64 號
E-mail: jyliang@cwb.gov.tw

Jen-yu Liang, Assistant Agronomist
Agrometeorology Branch, AMD, CWB
64 Kung-Yuan Road
Taipei 100, Taiwan, R.O.C.
E-mail: jyliang@cwb.gov.tw

商文義，教授
地球及大氣科學系
美國普度大學
美國印地安那州拉華越 47905
E-mail: wysun@purdue.edu

Wen-Yih Sun, Professor
Department of Earth & Atmospheric Sciences
Purdue University
West Lafayette, IN 47905, U.S.A.
E-mail: wysun@purdue.edu

耿旭，教授
農藝及生態科學系
美國加州大學戴維斯校區
E-mail: sgeng@ucdavis.edu

Shu Geng, Professor
Department of Agronomy & Range Sciences
University of California at Davis
Davis, CA 95616, U.S.A.
E-mail: sgeng@ucdavis.edu

丁宗蘇，博士候選人
農藝及生態科學系
美國加州大學戴維斯校區
E-mail: sgeng@ucdavis.edu

Tsung-Su Ding, Ph.D. Candidate
Department of Agronomy & Range Sciences
University of California at Davis
Davis, CA 95616, U.S.A.
E-mail: sgeng@ucdavis.edu

張佑芳，技士
中央氣象局應用氣象組農業氣象科
臺北市中正區 100 公園路 64 號
E-mail: maggie@cwb.gov.tw

Yu-Fang Chang, Assistant Agronomist
Agrometeorology Branch, AMD, CWB
64 Kung-Yuan Road
Taipei 100, Taiwan, R.O.C.
E-mail: maggie@cwb.gov.tw

徐森雄，教授
屏東科技大學水土保持系
屏東縣內埔鄉 840 老埤村學府路 1 號
E-mail: morio@mail.npust.edu.tw

Sen-Hsiung Hsu, Professor
Department of Soil & Water Conservation
National Pingtung University of Science & Technology
1 Hsieh-Fu Road, Lou-Pi Village,
Nei-Pu Hsian, Pingtung 840, Taiwan, R.O.C.
E-mail: morio@mail.npust.edu.tw

唐琪，講師
屏東科技大學水土保持系
屏東縣內埔鄉 840 老埤村學府路 1 號
E-mail: tangchi@mail.npust.edu.tw

Chi Tong, Lecturer
Department of Soil & Water Conservation
National Pingtung University of Science & Technology
1 Hsieh-Fu Road, Lou-Pi Village,
Nei-Pu Hsian, Pingtung 840, Taiwan, R.O.C.
E-mail: tangchi@mail.npust.edu.tw

第一章 總　　論

楊純明[1]　林俊義[1]　林富雄[2]

[1]行政院農業委員會農業試驗所

[2]行政院農業委員會高雄區農業改良場

摘　要 ---2

壹、前　言 ---3

貳、農作物生產與農業氣象之關係 ---4

參、本書內容簡介---5

肆、結　語 ---5

伍、參考文獻 ---6

英文摘要 ---7

第一章 總　論

楊純明[1] 林俊義[1] 林富雄[2]

[1]行政院農業委員會農業試驗所

[2]行政院農業委員會高雄區農業改良場

摘　要

維持自給自足的糧食生產一向是政府最重要的農業政策之一，政府並據以實施如降低肥料價格、保價收購、興建水庫充分灌溉水源及改進生產技術等糧食增產措施，鼓勵與獎勵生產。然而隨著經濟發展和國民所得提高，目前消費者對農產品已轉向為高品質與多樣化要求，使得農業生產由生產導向轉變為消費導向或市場導向，期以創造更高的農產品價值，並以避免生產過剩帶來的『穀賤傷農』問題。尤其面臨加入世界貿易組織(WTO, World Trade Organization)後的龐大國際競爭衝擊，農業生產更須注重市場機制，才能活絡產銷打開商品通道。針對當前農業所遭遇的各種難題，除了力求解決經濟與社會層面有關的問題之外，農業科技的研發與應用亦將扮演關鍵角色。未來農業科技的發展應以提昇農產品品質、提高農業經營管理效能、以及促進農業資源合理利用為主要目標，引入創新、服務、品質與形象等知識經濟發展要素，將傳統農業轉向為精準農業和知識經濟產業，才能提昇整體農業競爭力。欲開創農作物生產之新紀元，需要充分利用農業氣象科學、技術與資訊，而欲提升農業氣象在二十一世紀的應用與發展，勢必將之發揮於農作物之生產，兩者相輔相承。無庸置疑的，屬於農業科技一環的農業氣象科技居於樞紐地位，值得吾人重視、應用與發展。

關鍵詞：農作物生產、農業氣象、氣候變遷、知識經濟、精準農業。

壹、前 言

一、農業知識經濟時代

維持自給自足的糧食生產一向是政府最重要的農業政策之一，政府並據以實施如降低肥料價格、保價收購、興建水庫充分灌溉水源及改進生產技術等糧食增產措施，鼓勵與獎勵生產(黃，2001)。儘管臺灣地區的糧食生產隨著主客觀環境與政策之更迭或有不同階段之演變，然而確保糧食安全供應之目標從未動搖，也因此維繫了多年來政經情勢之穩定，提供了工商業發展良好基礎。惟近年來時代與消費型態已出現重大轉變，國際間的競爭日益激烈，加上貿易自由化、市場化的豐湧浪潮，致使臺灣農業遭逢生產與結構轉型的重大壓力，亟待解決與突破。

過去臺灣農業的發展係以生產爲導向，追求生產力的不斷提升，以滿足民眾糧食需求，且藉由餘糧外銷賺取外匯，屬於數量經濟時代(陳，2001)。由於經濟發展和國民所得提高，目前消費者對農產品已轉向爲高品質與多樣化要求，使得農業生產轉變爲消費導向或市場導向，期以創造更高的農產品價值，並以避免生產過剩帶來的『穀賤傷農』問題。尤其面臨加入世界貿易組織(WTO, World Trade Organization)後的龐大國際競爭衝擊，農業生產更須注重市場機制，才能活絡產銷打開商品通道。

長久以來臺灣農業的經營發展受限於小農規模與拼盤式農業型態，更因爲自然資源的匱乏，一直未能開創新局面。爲順應時代的變革，臺灣農業勢須調整產業結構與改變經營型態，走向高科技與高附加價值方向，才有機會成功轉型至農業知識經濟時代，成爲現代化產業。唯有以『知識經濟的農業』理念來領導農業的發展，結合知識、科技與創新爲一體開發具市場性、高價位的農作物及其產品，臺灣農業的體質才有可能徹底改造，臺灣農業的困境才可能獲得解套(陳，2001)。當前農產品的價值不僅在於品質，而係藉由產品加工、品牌及行銷來反映其市場價格，增進其附加價值。誰能夠應用農業知識與科技，創新產品特色，發揮地方特性或獨特風味訴求，將成爲農業知識經濟時代的大贏家。

二、農業氣象科學與農作物生產

氣象的混亂與氣候的異常往往對農業生產、農民生計與國家總體經濟造成嚴重損害，因此氣象的掌握與氣候的預測對農業生產深具影響，而天氣預報與氣候預測更對農耕操作及農產品產銷具有深遠意義。現代化的精準農業體系，利用專家系統將大氣—土壤—作物串成一體，整合農耕知識與經驗，容納包括氣象資訊在內的各種環境資訊，經由辨識、判斷及決策過程處理農田與作物的時間、空間變異，達到農作物栽培(耕作、施肥、噴藥、灌溉、……等)的精準管理。未來在精準農業體系的運作下，臺灣農業將朝向高科技與高效能時代邁進，以智慧性的生產技術永續農業的經營與發展，並減輕對環境與生

態的負面作用，預料可將臺灣農業帶往更高一層境界。

氣候變遷及環境污染仍是現階段兩項重要的環境議(問)題，而氣候的變遷依照目前的擬說牽涉了全球溫暖化現象、氣候的異常及氣象的不規則性，將可能導致農業生產區移向極地、增加草原與沙漠面積、減少森林分佈及改變植物相與光合作用效率等而干擾農業生產，進而影響全球生態系統及環境污染狀況(林及楊，1998；楊，1995)。未來全球糧食的生產及安全供應，端賴吾人對氣候變遷影響的瞭解與因應，特別是農業生產技術的相對配合及農民對環境改變的調適能力。因此，爲降低極端氣象變化與快速氣候變遷對未來農業生產的影響，吾人應當重視相關問題，加強農業氣象科學之試驗研究，以研提適當的因應對策。

貳、農作物生產與農業氣象之關係

農作物生產與農業氣象之間互爲因果，交互影響。廣大農作物之植被覆蓋具有調節局地微氣候的功能，併爲水與物質循環中的重要一環。又農作物的生產過程中，不免釋出若干溫室效應氣體，或因植體殘餘物的燃燒而影響大氣組成及氣流運動，直接或間接造成區域性及全球性的大氣變動。反之，氣象變化密切關係農作物生產，日常天氣的冷暖晴陰及長期氣候的高低起伏，不僅牽引農民的耕作，亦左右生產過程的每一環節。尤其在快速的氣候變遷情境，極端(災害性)天氣與異常氣候發生的頻率將增加，各種氣象現象將更難以準確預測，自然會對農作物生育及糧食生產帶來負面效應。楊及林(1998)曾指出，全球氣候變遷對農業生產環境的影響包括(1)局地氣候的失序、(2)水質的優氧化、(3)降水的酸化現象、(4)生物圈與生態的改變、(5)海洋與陸地的遷移、及(6)紫外線輻射的增強等六大方向，，並建議吾人應從全面性、整體性及國際性等層面深入研究。

然而，調和兩者之關係並非易事，管制工商農業活動產生的溫室效應氣體，需要考量經濟發展與環境保護的平衡，安排產業優先次序，屬於國家經濟政策層次。而國家必須制定一套完整的能源政策，規範各種產業的溫室氣體排放量，在進退取捨之間求取合理平衡。氣象體系之異動則牽涉全球大氣系統之變化，必須世界各國通力攜手合作，正確處理廢棄物、禁止森林濫伐、限制農業殘餘物燃燒及改進農田栽培管理措施等，才有真正減少溫室效應氣體排放及降低空氣污染的機會，單憑一地一國之努力是不夠的。因此，欲有效解決農作物生產及氣象間之難題，勢須進行國際合作共同協議達成，而延伸引發之氣候、環保、人文、地理、社會、經濟及民生等議題亦爲重要課題，可能需要一併處理(林及楊，1998)。

就農業生產技術改進部分，首當深入瞭解農作物生產之氣象機制，釐清作物生長及生產與氣象因子之互動關係。其次爲探討現行氣候變遷擬說下的未來氣象情境，再針對新的農業環境與資源條件，改

良耕作方法、作物與品種及生產技術，改善農地設施、農場管理及產銷管道。如此，方得據以研擬因應配套之農業政策與試驗研究的調整，而真正從根提昇整體農業生產技術與生產環境。其中，如何應用新興科技於生產面與結構面的更新，善用新環境與新資源的優點開創新局，更是成功與否的關鍵。

參、本書內容簡介

欲開創農作物生產之新紀元，需要充分利用農業氣象科學、技術與資訊，而欲提昇農業氣象在二十一世紀的應用與發展，勢必將之發揮於農作物之生產，兩者相輔相承。有鑑於此，行政院農業委員會農業試驗所和中華農業氣象學會乃共同主辦「農作物生產之新紀元—二十一世紀農業氣象之應用與發展」研討會，並將專題論文編纂成書出版，期以突顯農作物生產與農業氣象之環扣關係，並彰顯兩者在新世紀農業產業的重要地位，予識者與農政單位參考。

本書計八章，第一章總論，乃本書之緒言與摘要，簡述農作物生產與農業氣象之因果關係，同時指明本書各章之要旨。第二章貿易自由化後的稻米政策，詳實敘述我國稻米政策之演變，也概略描繪加入世貿組織後稻米政策的未來發展。第三章氣候預測對臺灣農業之潛在經濟效益—以聖嬰預測在稻米產業之應用為例，從農業經濟的角度析論氣候預測對農業經濟與發展的重要性，並以實例說明預測聖嬰現象在稻米產業上的應用。第四章整合型農業專家管理系統與農業生產，闡明建立整合型農業專家管理系統之功能及其應用層面，特別強調建置構想與系統架構供各界參考。第五章臺灣地區農業氣象觀測網之建立與展望，詳細陳述了布建臺灣地區農業氣象觀測網之沿革與經過，並期盼各界善用農業氣象資訊，助益於國家經建發展。第六章空氣、土壤及植物之交互作用，介紹美國普度大學發展之「空氣、土壤及植物交互作用」數學模式，此一模式能夠模擬與解釋地面及地表附近所觀測的一些重要物理現象。第七章病蟲害管理之氣象-作物模式，例證利用有效的天氣預報系統降低發生災害的損失，並簡介引進生物氣候模式修正為適用於台灣情境之經過及其預測作物生育期和病蟲害消長的情形。第八章坡地檳榔園之微氣候與水文之特性，以實例驗證應用農業氣象資訊於檳榔園地表逕流與微氣候特性之探討，同時再由氣象資料推估檳榔園蒸發散量以瞭解檳榔園之水文特性。

肆、結 語

我國產業的發展已由傳統農工產業轉進為商業、服務業及新興智慧型產業等方向，在經濟結構上出現大幅而快速的改變，並因此造成農業部門的日益萎縮及農業前景的低迷。在以腦力決定勝負的二十一世紀「知識經濟時代」，包括農業在內的傳統產業均需充分運用知識、善用科技及發揮創新價值，使提昇至『知識產業』層

次，才能賦與產業新生命力、帶動產業的更新發展。

農業具有生產加工、糧食安全、資源保育、景觀維護、社會安定、鄉村就業及文化傳承等多樣化功能，農業政策的目標即在於促進農業與農村多元功能的發揮，讓農民安居樂業、全民共享農業公共財的真善美。針對當前農業所面臨的困境，除了力求解決經濟與社會層面有關的問題之外，農業科技的研發與應用亦將扮演關鍵角色。未來農業科技的發展應以提升農產品品質、提高農業經營管理效能、以及促進農業資源合理利用爲主要目標，引入創新、服務、品質與形象等知識經濟發展要素，將傳統農業轉向爲精準農業和知識經濟產業，才能提昇整體農業競爭力。

在嶄新的二十一世紀裏，農業氣象科技是開創農作物生產新紀元的重要元件，亦是現代化精準農業體系所必需的知識與技術。此一新興農業經營管理型態，整合各式相關科技及知識，對特定地區農田之時空變異分佈進行有層次、有規劃、有條理的精準栽培與管理，終至獲得最適的農作物生產與農產品品質。實施精準農業的結果，農業資源將獲得妥善利用而避免不必要的浪費，生態環境則減少不當的污染與破壞，不僅改進農作物生產系統的效率與效能，也維持環境保護、生態維護及經濟效益的最佳動態平衡。綜合前述，無庸置疑的，屬於農業科技一環的農業氣象科技居於樞紐地位，值得吾人重視、應用與發展。

伍、參考文獻

林俊義、楊純明 主編。1998。氣候變遷對農作物生產之影響。臺灣省農業試驗所出版，臺中縣霧峰鄉。212pp.。

陳希煌。2001。陳希煌主任委員視察臺南區農業改良場業務指示事項摘要。2001 年 4 月 15 日陳主任委員視察行政院農委會臺南區農業改良場業務指示，農委會 90.5.14.(90)農秘字第900075202 號函，臺北市。

黃有才。2001。第二章 貿易自由化後的稻米政策。p.9-14。楊純明、林俊義、林富雄 主編，農業氣象之應用與發展。行政院農業委員會農業試驗所/中華農業氣象學會出版，臺中縣霧峰鄉。

楊盛行 編。1995。氣候變遷與農業生產。中國農業化學會/行政院農業委員會出版，臺北市。319pp.。

楊純明、林俊義。1998。第十三章全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向。p.192-207。林俊義、楊純明 主編，氣候變遷對農作物生產之影響。臺灣省農業試驗所出版，臺中縣霧峰鄉。

Chapter 1 Introduction

Chwen-Ming Yang[1], Chien-Yih Lin[1], and Fu-Hsiung Lin[2]

[1] Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture

[2] Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture

ABSTRACT

Self-supply and self-sufficient in food is one of the most important agriculture policies in the past In Taiwan. Measures such as lower fertilizer cost, guarantee cereal price, abundant irrigation resource and improved production technology have been carried out by the government to encourage food production. Due to the rapid increase of income and highly economic development recently, commodity with high quality and multi-functionality are in great demand. Therefore, strategies for agricultural production have shifted from production-oriented toward consumer-oriented or market-oriented direction. The produces from agriculture are expected to have higher added values than ever before because of the prominent production and processing standard by the incorporation of newly developed techniques. In foreseeing the new era after entering the World Trade Organization, pressure from international competition will be much greater. Agricultural production must be focused on marketing mechanism in order to open more market places. Agricultural technologies shall be emphasized more in all perspectives to improve crops production procedure, commodity quality, management proficiency and effectiveness, and proper exploitation of resources. To open a new agricultural production era in the twenty-first century, especially in the situation of knowledge-based economy, technology, information and knowledge should be integrated into the innovative production system. And, innovation, service, quality, and named brand are the key elements to be stressed leading to a successful reform in agriculture industry. Certainly, science and technology of agricultural meteorology will play an important part in the system, and vice versa, a high standard crop production shall be the driving force behind the applications and development of agricultural meteorology in the future.

Key words: Crop production, Agrometeorology, Climate change,
Knowledge-based economy, Precision agriculture.

第二章　貿易自由化後的稻米政策

黃有才

行政院農業委員會農糧處

摘　要 ---------- 10

壹、貿易自由化的意涵 ---------- 10

貳、我國稻米政策之演變 ---------- 10

參、未來稻米政策的發展 ---------- 13

肆、參考文獻 ---------- 15

英文摘要 ---------- 16

第二章　貿易自由化後的稻米政策

黃有才

行政院農業委員會農糧處

摘　要

本文回顧光復後台灣的稻米政策並概分為增加生產的稻米政策；確保供應無虞的稻米政策；確保自給自足的稻米政策三個階段，並檢討各階段的社經環境、採行措施、實施成果及施政成本。針對未來稻米政策的發展，本文介紹世界貿易組織規範及各國稻米政策的相應調整，也對我國未來的稻米政策提供思考的方向。

關鍵詞：稻米政策。

壹、貿易自由化的意涵

以往許多發展中國家，為了發展本國農業及工業，都採取貿易保護措施，以扶植其國內的產業。這些貿易保護措施包括管制進口、高關稅、出口補貼等。這些貿易保護措施在過去三十年來創造了亞洲許多國家的高成長經濟，但也造成一些採貿易開放政策的已開發國家如美國的產業外移及高失業率。為了解決國內產業的困境，美國乃在國際上大力推動貿易自由化，對於不能配合的貿易對手國，採取施壓及報復手段，促成了近十多年來的貿易自由化風潮。因此貿易自由化乃是取消管制進口、降低關稅、取消出口補貼等，讓各國以比較優勢做自由競爭，促進資源有效利用。

貳、我國稻米政策之演變

台灣光復後，台灣的稻米政策依時期可大約分為三個階段：(1) 1946 年至 1968 年：增加生產的稻米政策；(2) 1969 至 1977 年：確保供應無虞的稻米政策；(3) 1978 年迄今：確保自給自足的稻米政策。

一、增加生產的稻米政策(1946 年至 1968 年)

光復初期，由於歷經戰爭，糧食減產，加上中央政府遷台，大量軍民移入，因此，政府認為當時的糧食問題，完全在

於「量」的不足，並以積極恢復糧食生產、調節供需、穩定米價爲中心工作。

增產措施有增加化學肥料供應量及建立肥料換穀制度。光復初期化學肥料仰賴進口，由政府進口後配售給農民，並建立肥料換穀制度，以解決農民資金不足的困難。化學肥料的施用量，由 1946 年每公頃 132 公斤，增加到 1954 年 593 公斤，同期間每公頃糙米產量由 1,585 公斤增加到 2,183 公斤，總產量則由 894,021 公噸增加到 1,695,107 公噸。

政府爲供應調節軍需民食，必須掌握一部分糧食，作爲重要籌碼，採取的方式有(1) 徵收：將地主及自耕農應完納的田賦一律改徵實物；(2) 收購：以略低於市價約 10%之公定價格，向繳納田賦的業戶，徵購一部分稻穀；(3) 交換：如肥料換穀；(4) 貸款收回：以貸放資金給農民，收回時則以稻穀折還。透過這些方式，政府各年掌握量約占生產量的 30%，而其中 60%左右是藉由肥料換穀及貸款收回取得。政府之公糧，則用以供應軍公教糧、專案糧等爲主。自 39 年起，並開始餘糧外銷，爭取外匯。

另亦配合實施行政管制，包括查禁私運出境、實施糧區制度、取締囤積居奇、辦理糧商登記、疏導糧源流暢、禁止買賣青苗及空頭交易、推行食米消費節約等。

這期間稻米政策的實施成果，糙米產量由 1950 年 142 萬公噸增至 1968 年 252 萬公噸，增幅 77%；米價指數(基期年 1937 年爲 100）由 1950 年 620 增至 1964 年 2,934，同期間物價指數由 981 增至 3,914。餘糧外銷在 1958 年達最高峰，輸出白米 23 萬 3,557 公噸。

二、確保供應無虞的稻米政策(1969 至 1977 年)

從 1966 年起，國內工商業進入迅速發展，經濟結構也加速轉變。國內生產毛額中農業所占比例，由 1966 年之 22.52% 降至 1971 年之 13.07%，同時期工業由 30.55%升至 38.94%，而平均每人國民所得由 221 美元增加到 410 美元。農業在整個產業結構中已下降，而農業所得偏低，農村勞力加速外流，耕作意願降低，農村經濟發生困難。此時又值世界「綠色革命」成功，各稻米生產國均生產過剩，米價下跌，日本亦因國民生活提高，膳食結構改變，自 1970 年起不再進口食米。台灣受此影響，存糧增多，米價偏低，稻作面積開始逐年減少。

此時，有學者專家做下列三項主張：(1) 減少稻米種植面積，改種經濟價值較高作物；(2) 減少掌握糧食項目與數量，應以田賦、隨賦徵購等爲限，貸款收回稻穀及肥料換穀辦法應廢止；(3) 讓米價在自由市場自動調節，政府減少干預。

1973 年 1 期起廢除肥料換穀辦法，換穀數量劇減，由過去每年 40 餘萬公噸減至僅僅數千公噸，政府掌握量占生產量亦由 30%左右降至 10.1%。政府爲增加掌握數量，撥交 3 億元做爲收購 1973 年 1、2 期稻穀資金，並按稻穀生產成本加二成做爲收購價格。第一期收購時，收購價格高於

市價，故收購量達 5 萬 5 千餘公噸，資金幾已用罄。第二期則因市價節節上升，超過政府收購價，僅收購 2 公噸。

1973 年底以阿戰爭爆發引發石油危機，加上氣候異常，糧食減產及化學肥料價格激烈上漲，政府雖批售食米 13 萬公噸，但國內米價仍大幅上漲。蓬萊稻穀價格每公斤自 1973 年 8 月 5.25 元漲至 1974 年 2 月 12.65 元，政府緊急進口泰國白米 12 萬 8 千公噸，加上行政院採取整個經濟穩定措施後，米價才於 3 月中旬起下跌，逐漸恢復穩定。

米價暴漲後，1974 年初政府再度調整了稻米政策：(1) 鼓勵多種水稻，全年稻米產量除足夠供應國內全部需要，並至少應再增產 10%，年生產目標 270 萬公噸糙米；(2) 限制農用良田變更為其他使用，廢耕農地限期復耕；(3) 撥出 30 億元，設置糧食平準基金。

1974 年 1 期收購價格蓬萊穀每公斤 10 元，且為無限制收購。由於價格高，農民種稻意願大增，1976 年種植面積達 78.7 萬公頃，收購稻穀 72.9 萬公噸，造成嚴重之倉容壓力及米價大跌。每年虧損 30 億元以上，約占當時中央總預算的三十分之一，成為政府鉅額的財政負擔，因此 1977 年 1 期起改採計畫收購方式，每公頃收購 970 公斤。

三、確保自給自足的稻米政策(1978 年迄今)

台灣稻米政策幾經變遷，終於在供過於求的壓力下，採取減產政策，以確保自給自足而略有剩餘為原則。1984 年開始實施稻田轉作。種稻面積由 1983 年之 64 萬 5,855 公頃減至 1995 年之 36 萬 3,499 公頃，減少 43.7%，同期糙米產量由 248 萬 5,197 公噸減至 168 萬 6,535 公噸，減少 32.1%，其中轉作 11 萬 5 千公頃，休耕 6 萬公頃。

稻穀收購之價格及數量也因多次改變，存糧始終居高不下。歷年來政府收購稻穀的價格及數量詳如表一及表二。

表一、歷年來政府收購稻穀之價格　　價格(單位：元／公斤)

	計畫收購				輔導收購			
	一期		二期		一期		二期	
	蓬萊	在萊	蓬萊	在萊	蓬萊	在萊	蓬萊	在萊
1974 年	10.0	8.5	10.0	8.5				
1975 年-1977 年	11.5	10.5	11.5	10.5				
1978 年	11.5	10.5	11.5	10.5	9.3	8.3	9.3	8.3
1979 年	12.5	11.4	14.0	13.0	11.0	10.1	11.0	10.1
1980 年	14.5	13.5	16.6	15.6	12.8	11.8	14.5	13.5
1981 年	17.6	16.6	18.5	17.5	15.5	14.5	15.8	14.8
1982 年-1988 年	18.8	17.8	18.8	17.8	15.8	14.8	15.8	14.8
1989 年-1992 年	19.0	18.0	19.0	18.0	16.5	15.5	16.5	15.5
1993 年-	19.0	18.0	21.0	20.0	18.0	17.0	18.0	17.0

表二、歷年來政府收購稻穀之數量　　數量(公斤／公頃)

	計畫收購	輔導收購
1974 年-1976 年	無限制	
1977 年-1985 年	970 公斤／期	每期約 2,000 公斤
1986 年-1988 年	970 公斤／期	1 期 850 公斤，2 期 500 公斤
1989 年-1992 年	1 期 1,600 公斤，2 期 1,200 公斤	1 期 1,200 公斤，2 期 800 公斤
1993 年-	1 期 1,920 公斤，2 期 1,440 公斤	1 期 1,200 公斤，2 期 800 公斤

由於公糧陳米銷售不易，多數以廉價外銷低度開發國家或充作飼料米，造成鉅額虧損，糧食平準基金自 1974 年度設置以後，迄 1999 年度結束累積虧損 2,014.7 億元，經政府撥補後仍短絀 993.9 億元，於 90 年 1 月 1 日裁撤，移由財政部納入中央公共債務處理。

參、未來稻米政策的發展

一、世界貿易組織規範

世界貿易組織(簡稱 WTO)是多邊國際經貿組織，於 1995 年 1 月正式成立，前身「關稅暨貿易總協定」(GATT)則創立於 1947 年。世貿組織現有 134 個會員，會員間之進出口貿易價值約 10 兆美元，占全世界貿易值 90%以上，可說是「世界經貿聯合國」。

世貿組織的主要功能以下四項：(1)具國際法人地位，可監督、管理及執行各項協定；(2)提供會員諮商場所；定期檢討各會員體貿易政策；(3)提供會員間解決貿易爭端的場合；(4)與其他國際組織合作，決定全球經貿政策。

關貿總協烏拉圭回合談判將農業議題列爲優先談判項目，於 1993 年 12 月達成最終協議，並自 1995 年開始實施。其中附錄五規定凡符合下列條件者，可暫緩實施關稅化，而採特別處理措施：(1) 基期年進口量未達消費量 3%；(2) 自 1986 年起實施未出口補貼；(3) 已採取有效的生產限制措施。

提供最低進口數量，已開發國家由第一年消費量 4%，逐年提高至第 6 年 8%，開發中國家由第一年 1%，逐年提高至第 10 年 4%。會員國在特別處理措施實施期間允許將其轉換，改爲關稅化措施。

另外協議規定應削減境內支持，以綜合支持措施(AMS)作爲削減之衡量指標，並以 1986 年至 1988 年爲基期，已開發國家自 1995 年起 6 年內須減少 20%，開發中國家 10 年內須減少 13.3%。無貿易效果之直接給付不在此限。

稻米是我國最重要之農產品，我國與各國諮商結果是採限量進口之特別處理措施。

二、先期調整推動「水旱田利用調整計畫」

爲因應加入世界貿易組織，農委會自 1997 年 7 月起推動「水旱田利用調整計畫」。爲達成削減境內綜合支持之目標，先行調整雜糧收購，逐漸以直接給付取代。

轉作綠肥或辦理生態維護功能等無關生產的直接給付，可豁免納入削減範圍，其給付標準予以提高，以誘導農民加入，至於稻米仍維持現行收購制度。

本計畫推動以來，保價雜糧種植面積由 1997 年 4.5 萬公頃降至 1999 年 2.1 萬公頃，同期間雜糧收購數量由 20.3 萬公噸降爲 9.8 公噸，協助達成削減農業境內綜合支持。

三、各國稻米政策的相應調整

1.日本：

日本自 1995 年依烏拉圭回合承諾進口稻米後，政府庫存米大增，自主流通米價格由 1994 年每公斤 356 日圓跌至 1999 年每公斤 280 日圓，跌幅 21%。爲維持稻農之所得，日本政府於 1998 年成立「穩定稻米栽培基金」，以前三年自主流通米之平均價爲基準價格，由稻農繳納基準價格之 2%，政府配合出資 6%成立基金。一旦市價低於基準價格之 80%，由基金撥付價差之 80%乘以稻農繳交自主流通米數量之金額作爲給稻農的補償。當補償金額超過基金數額，由負責基金管理的全國農協向金融機構借貸，利息由政府補貼，日本實施本措施，預估每年增加政府財政支出 958 億日元。

2.美國：

美國自 1996 年起實施的新農業法案，採取定額給付，允許 1996 年算起，過去 5 年內曾經參加小麥、稻米、飼料作物與棉花等基本農產品的保證價格計畫的生產者，與美國農部訂定爲期 7 年(1996-2002)的生產彈性契約，政府在 7 年中，每年給予法案中規定的支付額。農民除了蔬菜、水果外，可不受限制的決定農業的生產活動，也不再接受目標價格與差額給付的所得支持保障。7 年中，總生產彈性契約的支付額爲 358 億美元，其中稻米 8.5%、小麥 26.3%、飼料作物 53.6%、棉花 11.6%。每位生產者每年可領取最高支付額爲 40,000 美元。稻米的 7 年契約給付分別爲 473 百萬美元(1996 年)；456 百萬美元(1997 年)；491 百萬美元(1998 年)；475 百萬美元(1999 年)；435 百萬美元(2000 年)；350 百萬美元(2001 年)；339 百萬美元(2002 年)。每位農民可獲得之金額等於合約面積乘以 85%乘以核定之單位面積產量乘以每單位面積之補貼標準。每單位面積補貼標準，依參加稻米生產契約之農民數而定，農民參加踴躍時，補貼標準降低，反之，則提高。本項補貼與生產完全分離，農民依照市場供需，自行決定種植作物，並負經營風險。

3.我國未來稻米政策

加入世界貿易組織後，我國稻米政策勢必再做調整，在研擬未來的政策時必須考量的因素有：(1) 糧食安全；(2) 稻農所得；(3) 米價穩定；(4) 稻田多功能之非貿易考量，諸如生態、文化等；(5) 綜合支持措施應持續削減；(6) 政府財政支出等。

未來的生產數量，顯然必須配合進口做調減，因此必須依據國內市場對國產米

的需求，來做有計畫的生產，也就是以「供需平衡」爲生產目標。至於多出的稻田面積，除了移出做非農業使用或辦理休耕轉作外，配合「綠色矽島」政策，將推動「平地造林」。

公糧收購制度必須重新檢討。近年來每年政府收購稻穀在 40 萬公噸以上，且因市面糧價低迷有增加的趨勢。公糧出陳不易，庫存量已達 60 萬公噸以上，加入 WTO 後，銷售釀酒糧、軍糧銷售管道如受阻，庫存的問題會更嚴重，政府財政負擔將加劇。

改變現行公糧收購制度目前探討中的方向有二：(1) 維持現有每公頃公糧收購的價格及數量，但必須調減生產目標，推動分區的強制性休耕或轉作；(2) 以直接給付取代公糧收購，領取直接給付的稻田可自行選擇作物。

方向(1)的優點是與現行制度相去不遠，政府對糧食掌握較佳，缺點是推動時行政上較繁瑣，且綜合支持措施不易減少，政府財務則與現行相若。方向(2)的優點是對稻田直接給付，行政上精簡；綜合支持措施大幅削減，且取消公糧收購制度政府無大量庫存管理及銷售問題；缺點是稻米市場自由化，農民以市場來決定是否種稻，稻米生產目標無法準確落實，國內稻米價格將因市場供需而波動，政府安全庫存及市場干預的機制，必需有配套考量。方向(1)推動初期政府的財務負擔可能增加，但可以制度設計逐年減少。方向(2)與現行制度不同，如何讓農民接受是一大挑戰。

日本在 1999 年稻米進口制度以關稅化來取代限量進口，同時將最低進口承諾量由原本每年成長 0.8%降爲 0.4%。此種轉換是因爲日本政府希望藉著關稅化來解除原先最低進口承諾量的進口數量成長壓力。未來，我國勢必也要走上關稅化，但關稅化關稅每年必須依協議下降，因此，國產稻米的保護將逐年減少，遲早必須與進口米做公平競爭。今後國產稻米唯有以品質優勢取得價格優勢，才能在自由競爭的全球化趨勢下永續發展。

肆、參考文獻

台灣百年糧政資料彙編。1997。第一篇一百年來台灣糧政之演變。台灣省政府糧食處出版。

張靜貞、傅祖壇、李元和、施順意。2001。加入 WTO 後稻米產業的危險與機會。自由中國之工業 91(2)：1-24。

黃萬傳。1999。日本稻米進口關稅化。

傅祖壇等。2000。台灣稻米關稅化與收購制度替代方案之研究。

李元和。2001。WTO 新回合農業談判對我國稻米產業的影響。

Chapter 2 Rice Policy in the Free Trade Era

Yu-Tsai Huang

Food and Agriculture Department, Council of Agriculture, the Executive Yuan, R.O.C.

ABSTRACT

This article reviews Taiwan rice policy since the World War II, and divides the time since then into three periods: (1) Production-Promotion Period; (2) Ample-Supply Period; (3) Self-Sufficient Period. The article also reviews the socioeconomical background and adopted measures, and analyzes the cost and benefit. As to the future rice policy, this article introduces the WTO rules and new policy taken by various countries. It then gives some thoughts as regards the future rice policy of Taiwan.

Key words: Rice policy.

第三章　氣候預測對臺灣農業之潛在經濟效益

－以聖嬰預測在稻米產業之應用爲例

張靜貞[1,3]　陳吉仲[2]　楊晴雯[3]

[1] 中央研究院經濟研究所
[2] 國立中興大學農業經濟系
[3] 國立台灣大學農業經濟系

摘　　要 ---------- 18
壹、前　　言 ---------- 18
貳、聖嬰對稻米產量的影響 ---------- 21
參、隨機性貿易模型 ---------- 25
肆、聖嬰預測之影響 ---------- 27
伍、結　　論 ---------- 30
陸、參考文獻 ---------- 30
英文摘要 ---------- 32

第三章　氣候預測對臺灣農業之潛在經濟效益

－以聖嬰預測在稻米產業之應用爲例

張靜貞[1,3] 陳吉仲[2] 楊晴雯[3]

[1]中央研究院經濟研究所

[2]國立中興大學農業經濟系

[3]國立台灣大學農業經濟系

摘　　要

異常的氣候對農業生產與農民生計往往造成很大的損害，因此氣候預報資訊的準確度與傳播對農民的生產決策具有相當重要的意義。聖嬰－南方振盪現象是一種大氣環流與海氣熱量交換的改變所造成的異常氣候型態，規模強者會造成世界各地的氣候產生許多大幅度之異常現象，也對世界農產品市場的產銷結構產生極大之影響。本研究之目的在分析聖嬰現象對世界稻米生產與貿易之之影響，並進一步探討聖嬰預測所能帶來的經濟價值。初步結果顯示聖嬰對近赤道之西太平洋地區、歐洲與北美的稻米產量有負面影響，對主要出口國印度則有正面影響。反聖嬰對進口國稻米產量的影響普遍爲負面，對主要出口國印度與泰國的影響爲負面，美國則爲正面。發生聖嬰時，準確預測的潛在價值約有 228 億美元；發生反聖嬰時，準確預測反而會產生 5 億美元的損失。

關鍵詞：氣候預報、聖嬰、農業、稻米生產。

壹、前　　言

聖嬰-南方振盪現象是一種大氣環流與海氣熱量交換的改變所造成的異常氣候型態，發生於熱帶東西太平洋地區，大約每二至七年發生一次，規模強弱互現，規模強者造成世界各地氣候產生大幅度之異常現象，以 1982/1983 年的超級聖嬰爲例，造成位於東太平洋地區美洲國家水患、西太平洋地區之澳洲、東南亞等地乾

旱與森林大火，除人命財產之損失外，也對世界農產品市場的供需與價格產生極大之影響，甚至造成若干國家之糧食安全問題（汪，1998；許，1998；唐，1998）。

自 1982/83 年嚴重的聖嬰現象後，聖嬰的研究已成爲全球性的研究計畫，研究的角度已經從對現象的描述進展至預測。實際上已經應用氣候預測的國家以南美國家如秘魯、巴西等爲首，1982/83 的聖嬰使巴西北部 154 萬平方公里的農耕區域受乾旱影響，此區域內的 1400 多萬農民損失嚴重，不但造成糧食價格上漲 3 倍，國家債務增加，也影響民生物資供應與企業之經營。之後巴西政府積極宣導聖嬰的乾旱預測資訊，並興建水壩以及管制灌溉用水，最後在 1992 年聖嬰造成當地降水量僅有平常的 23%時，農業生產與平均產量相差無幾，相對於 1987 年的收穫量，這種成果是可觀的。

巴西的鄰國秘魯在 1982/83 聖嬰年後成立 ENSO 特別委員會，由氣候專家、產業代表及政府官員合作，由預期降雨量來決定隔年之農業生產方案，當政策形成後，透過媒體將訊息提供給社會大眾，並協助農民決定適合種植的作物，因而 1986/87 年聖嬰來臨時，其稻米和棉花的產量反而較前一年還來的高。運用同樣的經驗，也在 1997/98 年聖嬰之前就預測會有豪雨侵襲而重新規劃農作物，鼓勵農民選擇種植水稻。Lagos and Buizer（1992）聲稱使用氣象預測來協助農業部門制訂相關決策確實避免秘魯 GNP 的衰退。

除了秘魯與巴西外，日本、中國、澳洲、歐美各國也積極的從事瞭解以及發展對聖嬰現象的預測能力。在澳洲亦有一群氣象與農業科學家與 Queensland 省的農業當局保持密切的合作關係，一方面致力於有關聖嬰現象的預測，一方面則研究輔助的決策軟體。1997/98 年聖嬰發生前半年，美國國家海洋大氣總署（NOAA）已經預測到這個聖嬰現象的發生，並且認爲是超級聖嬰而通知全國戒備，日本、澳洲在接下來的一個月中也發佈了同樣的消息，因此澳洲農民賣掉部分牛隻並改變種植計畫，美國從加州到科羅拉多州都做了防災準備，在北秘魯則因爲預測聖嬰將爲秘魯帶來豐沛的雨水，於是開始廣種牧草以豢養牛隻，並種植水稻及大豆等原本在秘魯北部因乾燥而無法種植的農作物。儘管如此，仍有國家不在意這些預報，如印尼以往聖嬰現象發生時往往發生乾旱，而印尼傳統農業都是放火燒山來取得耕地，沒想到在 1997/98 年，聖嬰引發的乾旱本來就已經使收成不足與糧荒，而印尼人民卻還放火燒山取得耕地，不但大火一發不可收拾，霾害還破壞生態，造成嚴重污染，引發國際間的問題。有此教訓後，印尼政府在 2001 年 3 月 15 日宣布，爲預防 2002 年可能發生的聖嬰現象，今年可能需進口 1.5 百萬噸的稻米以爲預防。

至於在台灣，雖然聖嬰帶來的豪雨也帶來不少農作和財物損失，但藉著準確預報，也讓台灣避免了不必要的損失。1998 年 1 月，台灣省水利處原本準備宣佈休耕，但中央氣象局認爲這次的超強聖嬰會爲台灣地區帶來可觀的春雨，建議管理單

位不用休耕，接下來的豪大雨證明不休耕的決定是對的。這項決定讓政府節省了約二億七千萬元的休耕補助費。台灣電力公司也因此在二、三月的水力發電量增加了八億五千四百萬度，節省燃料費約九億六千萬元。

以稻米主產區的東南亞爲例，聖嬰往往造成亞洲季風延後，失去亞洲季風所帶來的豐沛雨量，迫使稻作耕種期與收穫期也跟著延後，在國內供給匱乏之下，亞洲地區的進口量便會增加。當美國加州、印尼、中國等稻米主要產地受到影響之際，對於西太平洋地區消費稻米爲主的東亞國家來說，糧食安全將受到很大的威脅，因而政府當局該如何做出因應對策，即時調節稻米庫存以確保國內糧食供給無慮，便成爲一個很重要的研究課題。

其次，雖然上述的一些實例顯示若能善用聖嬰現象的預測，做好事前的因應，不但可預防糧食危機，更能增進人類的福祉，但是 1997/98 年的超級聖嬰仍然帶來了極可觀的災害。根據估計全球約 5000 人死亡，總損失超過 100 億美元，各地皆陸續發生糧食不足的問題。根據 FAO 的 Food Outlook 可知，單在 1997 一年就已經造成 31 個國家的糧食供給問題，而到了 1998 年更是增加到 37 個國家。稻米屬熱帶植物，喜好溫暖、濕潤及充足的陽光，聖嬰現象的發生使得各地的雨量、溫度、及日照都會有所改變。在 1997 年聖嬰現象開始時，造成東南亞的乾旱持續一段時間，印尼延後耕種，不但收穫期延後且產量不高外，存糧也急遽下降，故 1998 年必須大量進口以維持國內需求。因此本文以稻米爲主題，從貿易的角度來探討預測聖嬰現象對社會福利之影響及其必要性。

氣候預測的經濟價值在於透過利用預測資訊進行經濟決策後所能增加的社會福利多寡來加以衡量，因此氣象預測的重要性在於所增加的社會福利。以往有關長期性氣候變遷之經濟影響已有不少研究成果，但有關較爲短期性且極端的氣候變化的影響評估則較少見。最近幾年才開始有一些聖嬰預測的研究成果，其結果均顯示準確的預測可以對社會以及農業部門帶來正面的影響，例如：Adams *et al.*（1995）利用 1948-1987 年美國東南部 13 個地區的氣象資料來分析四種農作物的供需，結果發現精確的預測每年約有 1 億 4 千萬美元的價值，而不準確的預測只有 9 千 6 百萬美元的價值。Solow *et al.*（1998）延續上述研究，將範圍括展至美國 54 個地區、10 種作物的估計，並增加氣象變數，以加強氣候面因素的周嚴性，結果精確的預測將產生 3 億 2 千 3 百美元的經濟價值，相較於 Adams（1995）的結果顯然要大得多。而 Mjelde、Penson 和 Nixon 以美國中西部的玉米爲研究對象，發現完全準確的聖嬰預測可以在十年間得到 12 億或 29 億美元的社會福利。

本文的主要結構如下：第二節將分析聖嬰現象對稻米產量的影響，第三節介紹研究方法，即隨機性的世界稻米貿易模型，第四節說明聖嬰現象對稻米貿易結構影響及預測聖嬰現象對社會的潛在貢獻，最後則是結論。

貳、聖嬰對稻米產量的影響

聖嬰現象一詞源於西班牙文 El Niño，意指上帝之子或年幼的基督，因爲在赤道中、東太平洋及秘魯外海，每年年底接近聖誕節時海溫皆會上升，所以南美秘魯及厄瓜多爾一帶的漁民用以稱呼這種現象。然而每隔幾年，海溫就會變得太高，甚至改變氣候型態與生態，造成災害，所以目前「聖嬰」一詞已成爲這種異常現象的代表，而非規律的季節變化（魏及許，1997）。

當聖嬰現象發生時，東太平洋高壓降低，西太平洋低壓也減弱，使得赤道的熱帶東風跟著減弱，於是原來西行的洋流反向東流，逐漸受熱後聚於中、東太平洋，東太平洋因此海溫偏高、海面升高、湧昇流變弱，西太平洋則海溫偏低、海面下降，印度洋及部份大西洋海溫也上升，因此它的影響幾乎是全球性的。由於聖嬰現象發生時，赤道太平洋上方的氣壓場由東高西低變爲西高東低，宛如翹翹板般一上一下，而且又因爲發生在南太平洋，所以稱爲南方振盪（Southern Oscillation）。由於南方振盪與 El niño 有某種程度的關連，所以南方振盪指數（SOI）與海水表面溫度常是聖嬰現象判定的指標，結合聖嬰-南方振盪此一相伴相生之大氣海洋變化現象，稱之爲 ENSO，而國內一般媒體則直接稱作聖嬰現象（魏及許，1997；汪，1998；http://www.ogp.noaa.gov/enso ；http://www.faclty.nthu.edu.tw/~hycheng/）。

過去的資料顯示，聖嬰現象對臺灣的影響雖然不如上述地區劇烈，但對 2、3 月的雨量卻有明顯的影響。雖然同樣受到聖嬰現象影響，春天雨量皆會偏多，但任何兩次聖嬰現象的天氣型態皆不相同：1982 年 2 月的雨量雖然截至目前爲止仍爲最高，但其下雨的型態是持續的、發生對流的頻率較低且氣溫偏冷；而 1998 年卻發生豪大雨、冰雹、龍捲風，顯示對流旺盛，下雨型態是一陣陣的且氣溫偏暖（許，1998）。聖嬰現象發生時，臺灣鄰近海域海水溫度有偏高的趨勢，較暖的海水可提供大氣較多的水汽與能量，臺灣附近的天氣系統也可能因此較爲活躍，發生劇烈對流的機率也比較高；再者赤道太平洋的異常海水溫度所造成的全球大氣環流異動，也可能是造成臺灣 2-3 月多雨的因素之一（許，1998）。此外，根據馬家驎（1998）分析 1950-1990 年臺灣各水資源區之月降雨量的結果，發現聖嬰年通常造成臺灣地區 6 至 8 月降雨量大幅改變、9 至 12 月雨量減少、春雨提早發生（1 至 3 月）且春雨之雨量偏多的情況。

影響稻作生長的氣象條件主要爲氣溫、雨量、及日照，稻作生長所需要的水分通常由降雨及灌溉而來，雖然對於擁有良善灌溉設施的先進國家而言，水分管理成爲影響水稻生長的重要因素，但灌溉用水的來源仍是降雨，因此降雨的多寡、降雨時間的長短、與降雨的時機都成爲影響稻米產量的因素。若在稻作萌芽期氣溫低於攝氏 15 度，則會使稻種萌芽時間增長，而延後插秧期，並使水稻生長落後，導致稻穀收穫量減少；若在抽穗開花時大量降

雨，則可能因為下雨的天氣伴隨著氣溫的降低，而影響正常的受粉作用，造成結實比例降低（吳，1996）。

由於聖嬰現象造成各地雨量、氣溫等氣候因素的變化，進而影響稻米的產量，因此在估計時，我們設定變數將非氣候因素予以控制，而氣候因素則由殘差項來表示，利用最小平方法，我們的估計式如下：

$$y_t=a+b*Acre(\mathrm{t})+c*Acre^2(\mathrm{t})+\mathrm{d}*Year+e(\mathrm{t})$$

式中，y_t 代表稻米產量、*Acre* 為種植面積、*Year* 為代表技術變動之時間變數、而 e 則為誤差項。上式是根據 Song and Carter（1996）一文而來，Song and Carter 在估計供給函數時，曾以耕種面積為解釋變數，代表影響產量供給的政策及經濟因素，在該文中政策因素包含有價格支持貸款、價差補貼、與休耕轉作補貼政策，Song 認為這些政策都會影響到稻農的收益，而在技術不變之下，收益會影響耕種面積，所以將面積視為隱含政策與經濟面的變數。我們在估計產量時，便以面積變數(*Acre*)來控制政策與經濟因素，以時間趨勢變數(*Year*)來控制技術進步因素，最後未能控制到的部分(e)則是源自不確定的氣候因素。

本研究將全世界劃分為 22 個區域，每一個區域有 33 年的資料，因此有 22 條估計式，每條估計式會產生 33 個殘差值，再將 33 個殘差值與三種聖嬰現象發生的年份相對應後，分別求出三種氣候狀態(聖嬰年、反聖嬰年、正常年)下殘差值之算術平均數，藉以代表聖嬰現象對各國產量之平均影響。

此外，由於聖嬰現象發生期間可以從九月跨越至第二年的三月，對南、北半球而言，他們產量受到的影響將產生差異：到了九月入秋之後，北半球的稻作種植期陸續結束，此時若發生聖嬰，會一直延續到第二年春天，正值北半球稻米播種期間，因此聖嬰現象對北半球稻作生產的影響將落後一年；南半球則為相反的情況，受當年度聖嬰的影響。因此在北半球區域，其殘差必須與前一年度聖嬰比對。

表一將為三種聖嬰造成各國殘差為正或負的次數佔聖嬰發生總次數的比例分別顯示出來。由於殘差代表的是稻米產量觀察值與平均值的差距，若殘差為正，表示該年觀察值高於歷年平均值，反之則低於平均值，所以由表一可看出，暖冬對中國、印度、巴西、非洲等國有正面影響的機率較高，暖冬對緬甸、巴基斯坦、菲律賓、北美國家及澳洲則負面影響的機率較高；冷冬則對越南、美國與非洲正面影響的可能性較高，對印尼、北韓、南韓、緬甸、菲律賓、泰國、北美國家、歐洲與澳洲則為負面機率較高；正常年的情況則較為平均，除了北韓、菲律賓、歐洲與澳洲仍受正面影響機率較高外，其餘國家並無明顯的分佈。

再者，可由殘差的平均值來瞭解聖嬰對產量影響的幅度，將每一個國家的 3 種聖嬰的殘差值予以平均，若平均殘差為正，表示平均而言，聖嬰使該國增產，反之使該國減產，茲將產量增（減）加量佔該國平均產量

的百分比列於表二與表三，比例越高，表示　　聖嬰對該國稻米生產的影響越大。

表一、正、負殘差值所佔比例

區　域	暖　冬		冷　冬		正常年	
	+(%)	-(%)	+(%)	-(%)	+(%)	-(%)
孟加拉	56	44	43	57	38	62
中國	67	33	57	43	44	56
臺灣	56	44	57	43	44	56
印度	78	22	43	57	44	56
印尼	44	56	29	71	56	44
日本	56	44	57	43	63	37
北韓	56	44	29	71	69	31
南韓	44	56	14	86	56	44
緬甸	33	67	14	86	63	37
巴基斯坦	22	78	57	43	50	50
菲律賓	22	78	14	86	69	31
泰國	56	44	14	86	63	37
越南	56	44	71	29	44	56
其它亞洲國家	33	67	71	29	44	56
美國	56	44	71	29	56	44
其它北美國家	22	78	29	71	37	63
歐洲	44	56	29	71	69	31
前蘇聯	56	44	57	43	50	50
巴西	78	22	57	43	47	53
其它南美國家	44	56	57	43	65	35
非洲	67	33	71	29	35	65
澳洲	33	67	29	71	71	29

資料來源：本研究計算整理

註：1961-1993 年之間，暖冬共發生 9 次，冷冬 7 次，正常年 13 次。

殘差值所佔比例=（聖嬰年殘差值爲正（負）次數/聖嬰發生次數）*100%

如孟加拉在 9 次的暖冬中，殘差值爲正的次數共有 5 次，故暖冬造成殘差值爲正的比例約爲 56%。

表二、進口國平均產量變動情形 單位：%

	聖嬰現象		
	暖　冬	冷　冬	正常年
孟加拉	1.15	-1.66	0.17
中國	0.99	-0.62	0.11
印尼	-0.69	-1.21	1.25
日本	0.45	-0.99	1.54
北韓	5.20	-15.43	3.72
南韓	1.45	-3.22	1.13
菲律賓	-2.51	-4.79	3.50
其他亞洲國家	-1.20	1.37	-0.25
其他北美國家	-1.74	-3.20	2.28
歐洲	-1.29	-4.75	2.62
前蘇聯	0.50	-0.71	0.58
巴西	2.06	-4.68	1.02
非洲	0.49	-0.56	-0.10

資料來源：本研究結果

表三、出口國平均產量變動情形 單位：%

	聖嬰現象		
	暖　冬	冷　冬	正常年
臺灣	0.24	1.29	-1.02
印度	1.99	-1.19	-1.07
緬甸	-1.39	-5.55	3.06
巴基斯坦	-1.45	0.22	-0.33
泰國	0.19	-3.92	2.06
越南	-1.44	1.46	0.17
美國	-1.68	2.39	-0.05
其他南美國家	1.00	-0.12	-0.68
澳洲	-3.74	0.84	1.38

資料來源：本研究結果

以進口國來說，除了其他亞洲國家及非洲外，正常年的平均殘差值大都為正，以中國（0.11%）增加的比例最低、北韓（3.72%）及菲律賓（3.50%）最高，表示在非暖冬、非冷冬的年份裡，多數進口國仍維持一定的高產量；相較於正常年，冷冬顯然有較負面的影響，大多數國家的平均殘差為負，即多數國家因冷冬而減產，產量減少的比例大都高於正常年增產的比例，如北韓冷冬將減產 15.43%，遠高於正常年增產 3.72%，巴西在冷冬減產 4.68%，正常年增產 1.02%，所以冷冬造成進口國家稻米減產的程度相當嚴重；相較於冷冬，暖冬的情況則較為緩和，以進口國而言，只有東南亞的印尼、菲律賓、其它亞洲國家與北美、歐洲的平均殘差值仍呈現負值，且這些負值並不如冷冬來得大。

以上結果與前文所述之聖嬰（暖冬）會造成熱帶西太平洋發生乾旱有關，因為乾旱造成印尼與菲律賓稻米減產。至於反聖嬰（冷冬）為氣候所帶來的衝擊，在現有的資料中未見有詳細討論者，因此我們尚無法驗證為何冷冬對多數國家所造成的衝擊會大於暖冬，不過稻米本屬於熱帶作物，性喜高溫濕潤，因此較冷的氣候型態，的確較容易降低稻作的產量。

至於出口國則沒有出現較一致的影響，緬甸（-5.55%）與泰國（-3.92%）受冷冬負面影響幅度較大；而印度受暖冬正面的影響，具有相當程度的增產（1.99%），受冷冬負面影響而減產（-1.19%）；越南與美國受暖冬的影響，前者發生乾旱，產稻區的美國加洲及南部則遭洪水肆虐，因此兩國大幅減產，而冷冬卻為他們帶來相反的結果；澳洲也是因暖冬發生乾旱而大幅減產（-3.74%）。

至於臺灣的部分，在正常年時，臺灣的產量即低於平均量約 1.02%，暖冬與冷冬則分別造成產量高於平均量 0.24%與 1.29%，所以無論是暖冬與冷冬皆不會為台灣稻米生產帶來太大的影響，即使有也大多是正面的。

參、隨機性貿易模型

生產者或消費者在風險下，當獲得氣候預報資訊時，若採取若干因應對策或調適行為而獲得利益，此利益即氣候預測之經濟效益。在 Solow *et al.*（1998）與 Chen and McCarl（1997）文中，皆利用貝氏風險決策理論來處理這類問題，貝氏理論中是以機率來顯示風險的概念，我們將貝氏風險決策理論運用於空間均衡模型，因此將考慮不確定性的貿易模型稱為隨機性的貿易模型。

貝氏風險決策理論假設每個個人或整個產業的決策部門所追求的是淨效益期望值的極大，在空間均衡模型中，則是追求福利或者社會淨報償的極大。令 s 代表三種實際的聖嬰現象、$\rho(s)$為發生事件 s 的機率、y 代表決策變數，在沒有預測的情況下福利的期望值為：

$$E\left(w\left(y\right)\right)=\sum_{s} w\left(y|s\right)\rho\left(s\right) \qquad (1)$$

在最適的情況下，追求福利極大將產生最

適的決策選擇 y^*，所以最適的決策與福利皆會隨 $\rho(s)$而變動。

接著考慮有預測的情況，令隨機變數 x 代表三種預測的聖嬰現象，因爲預測並不總是正確，所以產生一個事前的條件機率 $\rho(x|s$ ，其意思是在未來會發生事件 s 的條件下，現在預測爲 x 事件的機率，也就是預測準確度的代表。但未來的事無法獲知，所以透過貝氏定理，把事前機率變爲事後機率：

$$\rho(s|x) = \frac{\rho(x|s)^* \rho(s)}{\rho(x)} \qquad (2)$$

式中，$\rho(s|x)$爲事後機率，意思是在預測爲事件 x 的條件下，結果發生 s 的機率。若決策者在種植前相信預測的結果，則事後機率即代表實際發生的機率。預測事件 x 的機率可由下式表示：

$$\rho(x) = \sum_s \rho(x|s)^* \rho(s) \qquad (3)$$

綜合(1)式到(3)式，則在條件機率下的期望福利變爲：

$$E(w(y|x)) = \sum_s w(y|s)^* \rho(s|x) \qquad (4)$$

在追求福利期望值極大下，最適決策將受到事後機率的影響。

綜合上述，在沒有預測時，最適決策與福利受長期以來 s 發生機率的影響：

$$EW_1(y) = \sum_s W_1(y^*|s)^* \rho(s) \qquad (5)$$

而有預測時，最適決策與福利則受事後機率及預測本身的影響，在條件機率下，期望福利爲：

$$EW_2(y^*|x) = \sum_s W_2(y^*(x|s))^* \rho(s|x) \qquad (6)$$

最後去除預測條件 x，以涵蓋所有可能的預測，則上式成爲：

$$TEW_2 = \sum_x \left(\rho(x)^* \sum_s W_2(y^*(x|s))^* \rho(s|x) \right) \qquad (7)$$

若預測完全準確，則 TEW_2 將與 $EW_2(y^*|x)$ 相同，因此當預測完全準確時，預測的經濟價值爲 $EW_2 - EW_1$，當預測本身即具有不確定性時，預測的經濟價值爲 TEW_2-EW_1。

依上述的貝氏風險決策定理及預測完全正確之假設下，我們將稻米貿易模型設定如下(式 8)：

式中，$\rho(s)$代表不同聖嬰現象的事後機率，s 則代表三種不同的聖嬰現象：即暖冬、冷冬、及正常年；t_{ij} 則爲單位商品的運輸成本；SQ_{is} 及 SQ_{js} 則分別爲出口國與進口國因聖嬰所導致的產量變動，若爲正即增產，若爲負即減產。X_{ij} 爲由出口國 i 至進口國 j 的貿易量、M_j 爲進口國 j 的總進口量、E_i 爲出口國 i 的總出口量式中，A_{ij} 爲出口國 i 的猜測變量，B_{ij} 爲進口國 j 的猜測變量。

$$
\begin{aligned}
Max \quad & \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s)\left(a_j - \frac{1}{2} b_j \sum_i X_{ijs}\right) X_{ijs} - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s)\left(c_i + \frac{1}{2} d_i \sum_j X_{ijs}\right) X_{ijs} \\
& - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s) * \frac{1}{2} b_j X_{ijs}^2 \left(1 + A_{ij}\right) - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s) * \frac{1}{2} d_j X_{ijs}^2 \left(1 + B_{ij}\right) \\
& - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s) * t_{ij} X_{ijs} \\
st. \quad & - \sum_i X_{ijs} + M_{js} + SQ_{js} \le 0 \\
& \sum_j X_{ijs} - E_{is} + SQ_{is} \le 0 \\
& X_{ijs}, E_{is}, M_{js} \ge 0
\end{aligned}
\tag{8}
$$

肆、聖嬰預測之影響

爲了解預測聖嬰現象會對稻米貿易市場產生何種影響，本研究將針對隨機貿易模型進行兩種模擬：第一種是在沒有預測的情況下，針對聖嬰、反聖嬰與正常年三種情況，分別求解模型，由於不含預測的部分，所以不考慮機率問題，旨在探討三種聖嬰本身所造成的影響，故 $\rho(s)$ 值爲 1。第二種是在完全預測的情況下，以事後機率進行模型求解，所以 $\rho(s)$ 即爲事後機率。從 1961 年至 1993 年這 33 年來，聖嬰與反聖嬰分別發生了 9 次與 7 次，因此在預測完全準確時時，可假設聖嬰、反聖嬰、與正常年的發生機率分別爲 9/33、7/33、與 17/33。

一、沒有預測的情況

表四與表五比較有無預測的假設下，三種氣候狀態下進口國的進口量及出口國的出口量。在正常年時，世界總貿易量約爲 1 千 9 百多萬公噸，主要的進口國爲印尼、其他亞洲國家、與歐洲；主要的出口國則爲印度，出口量佔世界出口量之 46%，其次爲越南（17%）與美國（15%）。

在聖嬰年，世界總貿易量降至 1 千 8 百多萬公噸，比正常年少了 9%。主要的進口國爲印尼（20%）與其他亞洲國家（36%），兩者所佔進口比例，比正常年稍高，表示這兩個主要進口國會因爲暖冬而需要進口比平常更多的稻米，而歐洲（6%）則比正常年下降許多。至於主要出口國爲印度（29%）與泰國（33%），印度出口所佔比例較正常年爲低，泰國反而比正常年高出 30%左右，巴基斯坦也較正常年升高（由 1%升高至 11%），越南則明顯降低（由 17%降至 1%），表示聖嬰發生時，進出口結構已發生改變。

當反聖嬰發生時，由於各進口國減產情形相當嚴重，世界總進口量高達 3 千 4

百萬公噸，比正常年及聖嬰年高出許多。此外反聖嬰時，各進口國進口的比重較爲平均，主要的進口國爲歐洲（19%）、其他亞洲國家（16%）、與菲律賓（15%），至於印尼則降爲 13%，較正常年及暖冬均少，非洲則因冷冬而大增爲 12%；而出口國方面，主要出口國仍爲印度（27%）與泰國（30%），而美國（17%）也佔有一定比重。

表四、進口國之均衡總進口量 單位：公噸、%

	未做預測模型			完全準確預測隨機模型		
	暖　冬	冷　冬	正常年	暖　冬（預測暖冬）	冷　冬（預測冷冬）	正常年（預測正常年
孟加拉	908930	831625	364023	162612	539324	128700
	(5.05)	(2.45)	(1.83)	(0.62)	(1.80)	(0.28)
中國	1784101	2584465	1546183	1836805	2205505	1836805
	(9.91)	(7.61)	(7.78)	(6.96)	(7.35)	(3.98)
印尼	3530295	4330658	3083797	3129654	3892551	3129654
	(19.61)	(12.74)	(15.52)	(11.87)	(12.98)	(6.78)
日本	…	183352	…	155089	17875	183352
	(0.00)	(0.54)	(0.00)	(0.59)	(0.06)	(0.40)
北韓	731168	653869	210876	563307	563307	563307
	(4.06)	(1.92)	(1.06)	(2.14)	(1.88)	(1.22)
南韓	…	4025	…	638	6379	638
	(0.00)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.02)	(0.00)
菲律賓	294351	4936125	29435	4663555	6223701	345655
	(1.63)	(14.53)	(0.15)	(17.68)	(20.75)	(0.75)
其他亞洲國家	6455348	5377533	6973826	6571430	6107456	5922360
	(35.85)	(15.83)	(35.10)	(24.91)	(20.36)	(12.84)
其他北美國家	1569572	2369922	401621	1604477	1615325	1604477
	(8.72)	(6.97)	(2.02)	(6.08)	(5.39)	(3.48)
歐洲	1096098	6576322	6576322	1974453	1893812	2845225
	(6.09)	(19.35)	(33.10)	(7.49)	(6.31)	(6.17)
前蘇聯	262513	1103608	29638	750414	696884	23385387
	(1.46)	(3.25)	(0.15)	(2.85)	(2.32)	(50.69)
巴西	957075	879778	240379	971289	1705500	2194838
	(5.32)	(2.59)	(1.21)	(3.68)	(5.69)	(4.76)
非洲	414829	4148309	414829	3992383	4524480	3992383
	(2.30)	(12.21)	(2.09)	(15.14)	(15.09)	(8.65)
合計	18004280	33979591	19870974	26376106	29992099	46132781
	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)

資料來源：本研究結果

註：括弧內數值爲該國進口量佔世界總進口量之百分比

表五、出口國之均衡總出口量　單位：公噸、%

	未做預測模型			完全準確預測隨機模型		
	暖冬	冷冬	正常年	暖冬（預測暖冬）	冷冬（預測冷冬）	正常年（預測正常年）
臺灣	185688	18569	73113	205949	205949	205949
	(0.99)	(0.11)	(0.37)	(0.46)	(0.51)	(0.38)
印度	5512302	4711981	9216310	24200164	15894231	32432207
	(29.40)	(26.84)	(46.38)	(53.53)	(39.40)	(59.32)
緬甸	391591	...	994753	418315	2687747	418315
	(2.09)	(0.00)	(5.01)	(0.93)	(6.66)	(0.77)
巴基斯坦	1996539	1929503	185220	1940767	2188223	2002300
	(10.65)	(10.99)	(0.93)	(4.29)	(5.42)	(3.66)
泰國	6197922	5337280	619792	8976765	9723329	8976765
	(33.06)	(30.40)	(3.12)	(19.86)	(24.10)	(16.42)
越南	229720	1496859	3447047	3036594	2990054	4927360
	(1.23)	(8.53)	(17.35)	(6.72)	(7.41)	(9.01)
美國	2859271	2936573	3027500	4211890	4719605	4211890
	(15.25)	(16.73)	(15.24)	(9.32)	(11.70)	(7.70)
其他南美國家	865881	865872	1847950	1774116	1499647	1015453
	(4.62)	(4.93)	(9.30)	(3.92)	(3.72)	(1.86)
澳洲	510850	260581	459297	443947	429768	486358
	(2.72)	(1.48)	(2.31)	(0.98)	(1.07)	(0.89)
合計	18749764	17557218	19870982	45208507	40338553	54676597
	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)

資料來源：本研究結果

註：括弧內數值爲該國出口量佔世界總出口量之百分比

表六、社會淨報償　單位：百萬美元

	沒有預測模型			準確預測隨機模型
	暖冬	冷冬	正常年	
社會淨報償	10587	33835	21141	33344

資料來源：本研究結果

二、準確預測的情況

表四與五也列出在準確預測下之貿易結構。在聖嬰年，世界總進口量降至 2 千 6 百萬公噸，較正常年下降 43%，此時的主要進口國爲其他亞洲國家（25%），其

次爲印尼（12%）、菲律賓（18%）、與非洲（15%）；主要出口國則依然是印度（54%）與泰國（20%），變動不大。

反聖嬰年世界總進口量約爲 3 千萬公噸，較正常年下降 35%，此時的主要進口國爲菲律賓（21%）與其他亞洲國家（20%），其次爲非洲（15%）與印尼（13%），菲律賓與印尼在冷冬所佔進口比重較暖冬稍高，而前蘇聯仍只佔 2%，比正常年少許多；至於主要的出口國仍然是印度（39%）與泰國（24%），然而印度在反聖嬰年所佔的比重較正常年與聖嬰年爲低，泰國則較高，其餘出口國變動不大。

綜合以上所述，在完全準確預測之下，暖冬與冷冬皆會使貿易量下降。在貿易量變化的同時，貿易結構也有所改變，正常年的主要進口國—前蘇聯，在聖嬰年的進口量大減，反而是印尼、菲律賓、與非洲等國的進口比重增加，反聖嬰年貿易結構與聖嬰年的情況相同，沒有太大差異。

三、準確預測的潛在經濟價值

根據 Adams *et al.*（1995）、Chen and McCarl（1997, 1999）、Solow *et al.*（1998）的說法，所謂預測的經濟價值，即代表預測前後福利的變化，如表六 1 所列。未預測模型中，暖冬、冷冬、與正常年的社會總報償分別爲 105 億美元、338 億美元、與 211 億美元，而在準確預測下，社會總報償爲 333 億美元。因此對稻米而言，發生暖冬時，準確預測的潛在價值約有 228 億美元；發生冷冬時，準確預測反而會產生 5 億美元的損失。

伍、結　　論

聖嬰現象造成全球氣候發生異常變化，已對農業生產造成衝擊，而全世界約有 110 個國家在生產稻米，有一半以上的世界人口以稻米爲主要的熱量供給來源，稻米對人類的重要性可見一般，倘若聖嬰現象爲稻作生產帶來衝擊，則糧食安全的問題將令人擔憂。

鑑於聖嬰現象所造成的氣候變化是全球性的，並不侷限於某一區域，因此以世界稻米貿易市場的觀點來討論聖嬰效應，要比侷限於單國市場更能充分反應聖嬰的影響。本研究的主要目的在於以稻米貿易市場爲例，建立一個隨機貿易模型，分析聖嬰對稻米貿易的影響，並進一步探討聖嬰預測所能帶來的經濟價值。

初步發現聖嬰對近赤道之西太平洋地區（如印尼、菲律賓、越南、澳洲）、歐洲與北美的稻米產量有負面影響；對主要出口國印度則有正面影響。反聖嬰對進口國稻米產量的影響普遍爲負面，且減產幅度相當大；對主要出口國印度與泰國的影響爲負面，美國則爲正面。發生聖嬰時，準確預測的潛在價值約有 228 億美元；發生反聖嬰時，準確預測反而會產生 5 億美元的損失。

陸、參考文獻

汪中和。1998。「談聖嬰現象」。中央研究院週報。677：7-10。

唐存勇。1998。「聖嬰與海洋」。行政院國科會主辦之聖嬰現象-福？禍？研討會。

台北，8 月。

吳慧瑛。1996。「溫室效應對稻米產量影響之跨國分析」。臺北：中央研究院經濟研究所。

許晃雄。1998。「冰雹、聖嬰現象與氣候變遷」。全球變遷通訊雜誌 17：28-29。

馬家驎。1998。「聖嬰現象對台灣地區雨量之影響」。台北，經濟部水資源局。

魏國彥、許晃雄。1997。「全球環境變遷導論」，臺北：臺灣大學全球變遷中心。

Adams, R. M., K. J. Bryant, B. A. McCarl, D. M. Legler, J. J. O'Brien, A. R. Solow and R. Weiher. 1995. "Value of Improved Long-Range Weather Information." Contemporary Economic Policy 13: 10-19.

Chen, C.-C. and B. A., McCarl. 1998. "Spatial Equilibrium Trade Model in Imperfect Competitive Markets." Working paper, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University.

---------------. 1999. "The Value of ENSO Forecasts to U.S. and International Agriculture: An Integrated Sector and Trade Analysis." Working paper, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University.

Lagos, P. 1992. and J. Buizer. "El Nino and Peru: A Nation's Response to International Climate Variability." Natural and Technological Disasters: Causes, Effects and Preventative Measures. S.K. Majumdar, G.S. Forbes, E.W. Miller, and R.F. Schmaltz, eds., pp. 223-238. Easton PA: Pennsylvania Academy of Science.

Mjelde J. W., H. S. J., Hill and J. F. Griffiths. 1988. "A Review of Current Evidence on Climate Forecasts and Their Economic Effects in Agriculture." American Journal of Agricultural Economics 80: 1089-1095.

Mjelde J. W., J. B., Penson and C. J. Nixon. 1997. "Dynamic Aspects of the Impact of the Use of Improved Climate Forecasts in the Corn Belt Region." Final Report, Office of Global Programs, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington DC.

Solow, A. R., R. M. Adams, K. J. Bryant, D. M. Legler, J. J. O'Brien, B. A. McCarl and W.I. Nayda. 1998. "The Value of Improved ENSO Prediction to U.S. Agriculture." Climatic Change 39: 47-60.

Song, J. H. and C.A. Carter. 1996. "Rice Trade Liberalization and Implications for U.S. Policy." American Journal of Agricultural Economics 78: 891-905.

Chapter 3 The Potential Economic Values of Climate Forecast to Taiwan's Agriculture - The Case of ENSO Forecast on Rice Sector

Ching-Cheng Chang[1,3], Chi-Chung Chen[2], and Chin-Wen Yang[3]

[1]Institute of Economics, Academia Sinica

[2] Department of Agricultural Economics, National Chung Hsing University

[3]Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

ABSTRACT

Weather anomalies frequently cause significant damages to agricultural production and revenue losses for farmers. Therefore, the accuracy and dissemination of weather forecast are very important to farmers' decision making. El Niño (also known as the ENSO) is a change in the ocean-atmosphere system in the Eastern Pacific Ocean which contributes to significant weather changes around the world. Among these changes are increased rainfall across the southern region of the U.S. and in Peru and severe drought in the West Pacific, affecting Australia, Indonesia, and their neighboring countries. Production, consumption, exports, imports and welfare around the world change as crop yields are influenced by ENSO phases. The purpose of the present study is to investigate the value of improved ENSO forecasts to rice producers and consumers around the world. Preliminary results show that most of the west pacific region, Europe and North America are likely to receive negative impacts from the warm event. The production impacts on the exporting countries are more diversified-positive during the warm episode but negative during the cold. The potential economic value of ENSO forecast during the warm event is about 22.8 billion US dollars, but negative during the cold event.

Key words: Weather forecast, El Niño, Agriculture, Rice production.

農業氣象之應用與發展
第四章　整合型農業專家管理系統與農業生產
33 - 46, 2001

第四章　整合型農業專家管理系統與農業生產

申　雍

國立中興大學土壤環境科學系

摘　　要 ---------- 34
壹、前　　言 ---------- 34
貳、專家系統基本架構與建置要點 ---------- 35
參、國內外相關專家系統發展現狀 ---------- 39
肆、整合型農業專家系統的初步建置構想 ---------- 41
伍、結　　語 ---------- 43
陸、參考文獻 ---------- 44
英文摘要 ---------- 46

第四章 整合型農業專家管理系統與農業生產

申 雍

國立中興大學土壤環境科學系

摘 要

專家系統具有整合、累積領域專家之知識與經驗的功能，將會逐漸被使用於與農業生產活動中各類需要進行判斷與抉擇的工作。本文中首先指出發展農業專家系統的實用意義，其次介紹專家系統的基本概念與理想架構，以及專家系統的發展現狀，最後則提出建置整合型農業專家系統的初步構想。在規劃新世紀農業生產之相關研究方向時，有關整合型農業專家管理系統之研發工作，應該給予相當程度之重視。

關鍵詞：作物生產、土壤肥料、植物保護、農業氣象、專家系統、資料庫。

壹、前 言

農民經常有類似「我種的作物長不好，是什麼原因造成的？要怎麼做才能長得好？」、「我的土壤應如何改良，才能提高生產力？」、「我應該改種什麼作物，才能獲得較高的利潤？」、…等，如何改良和利用其土地以獲得更高利潤的問題。其中有關「作物長不好的原因及改善方法」方面的特定問題，若問對專家則可以獲得能「對症下藥」的答案；但是有關「如何才能獲得較高利潤」的綜合性問題，則通常很難獲得確切的答案，因爲農作物的產量和品質不僅受作物品種遺傳特性的影響，在作物生育過程中也同時受到氣象、土壤、病蟲害、…等環境因素的影響；而農產品的價格除受品質影響外，還受到供需、儲藏、運銷、…等社會經濟因素的影響。

我國即將加入世界貿易組織(WTO)，國產農產品已面臨市場開放之國際競爭壓力，據農委會估計，在加入世界貿易組織的六年內，將可能有十萬農民失業。因此勢必調整作物生產之種類、數量及型態。農業是一個具有-生產、生態、和生活-三生性質的產業，但若農民因無法獲得適當利潤，而將農地荒蕪甚或毀棄，實非全國人民所樂見。因此在農業發展政策上，除

了維持基本糧食安全需求外，應建立以市場導向之產銷觀念，尤其需藉開發具本土性特有作物產品，達成少量、精緻、多樣化生產之目標，以提昇各項農產品之市場競爭力，藉以達到農業永續經營目標，以維護生態環境和生活的品質(農委會，2001)。

在今日自由經濟盛行與自主意識高漲的台灣地區，若採用由政府單位先規劃生產專區，再輔導農民種植特定規劃作物的方式，則必須具有能承擔農民收益不如預期時的損失，以及可阻止農民一窩蜂搶種具高收益作物的能力，因此似乎並不具實用的可行性。較可行的做法應是開發具有整合性功能的專家管理系統，方能依據作物和當地氣候與土壤之特性、土壤改良和硬體設備之投資、遭受氣象災害損失的風險評估、以及市場價格等因素，提供具潛力的作物名單供農友選擇，然後再輔以適當的栽培管理措施指導、運銷體系規劃等之建議，協助農民開發生產高品質的作物，並增加生產收益，才能提昇國產農產品的競爭力。

由於每個人的知識和經驗都有限，只能就其所熟悉的部分做出建議，而無法有整體性的考量。年長之專家退休後，其畢生累積的經驗與知識，若無法傳承也將逸失。整合型農業專家系統之建立，應可累積並整合多方面專家的知識與經驗，使得推廣人員在現場爲農友服務時，能有多方面專家的意見可供諮商與參考，因而可以顯著提高其服務的品質與效率。

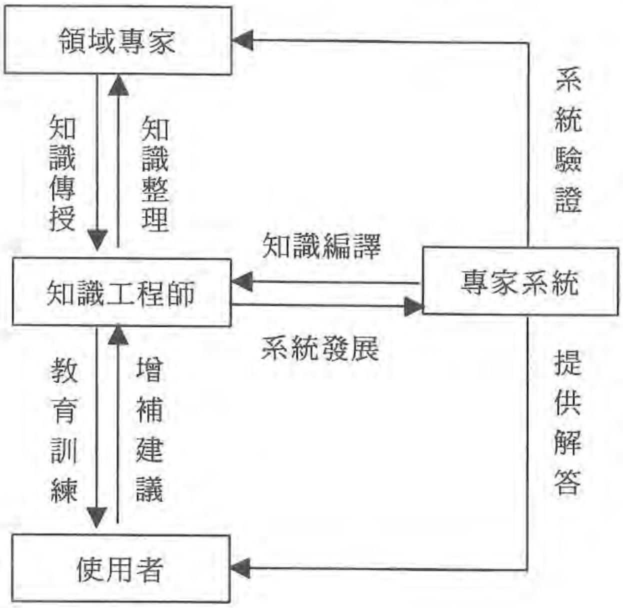
以下將分別描述專家系統的基本架構，以及有關專家系統的發展現況，並提出建置整合型農業專家系統的初步構想，以就教於國內外之專家學者。冀望在開發整合型農業專家管理系統之初，能集思廣益以收事半功倍之效，並聚集志同道合的朋友共同進行開發工作。

貳、專家系統基本架構與建置要點

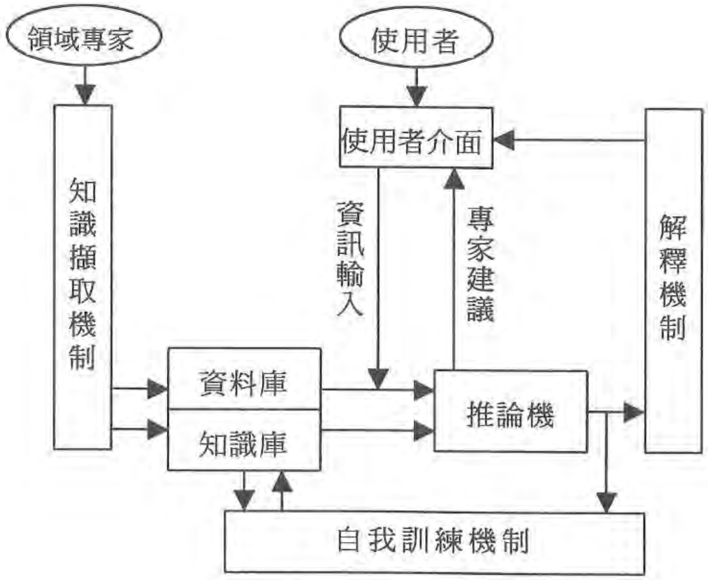
專家系統是能夠利用知識、事實、和推論代替專家處理問題的智慧型電腦程式，屬於人工智慧研究中的一部份，也是人工智慧中應用最成熟的部份(謝，1987；李，1989；Martin and Oxman，1988)。一個發展成熟的專家系統不僅可以代替無法聚在一起的專家以提供其獨到的見解並提出對策，也可以同化多位或多方面專家們的知識與經驗，以提出整合後的建議。使用專家系統的優點包括，1.可以系統化考慮所有細節後作出結論，2.知識的容量可以很大，且不會忘記，3.進行推論時不會受外界環境干擾，4.可以做爲新進人員的訓練教材。專家系統不能取代真正的專家，但卻可以成爲一個由專家群直接指導生產者的推廣工具，以避免在技術轉移過程中，因技術內容細節被忽略而未達到預期之目標。

建立專家系統需要有領域專家(domain expert)、知識工程師(knowledge engineer)、和使用者(user)三方面相互之配合(圖一)。由領域專家們提供各領域的專業知識與經驗，並就專家系統中建置的知識庫和資料庫提供增補與修正建議。知識工

程師則需瞭解專家系統的技術發展，有能力使用專家系統工具，擷取專家知識並編譯入知識庫中，調整知識庫中的知識，介紹並訓練使用者使用專家系統。使用者則利用系統執行相關工作，以確認系統的可使用性，並提供系統在使用上的修改建議。



圖一、專家系統與領域專家、知識工程師和使用者間關係的示意圖。

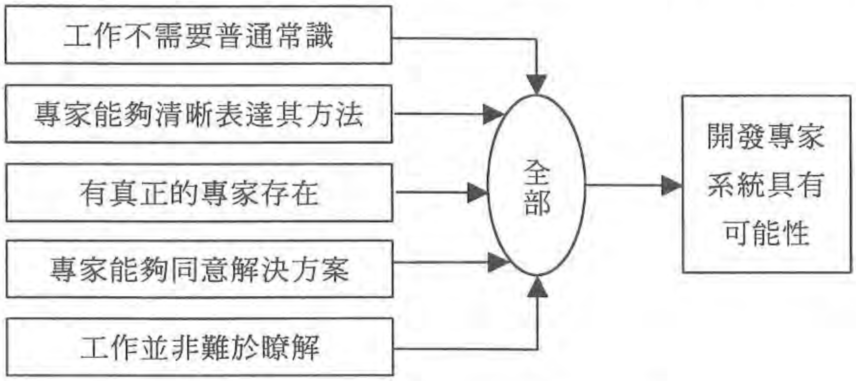


圖二、理想之專家系統基本架構示意圖。

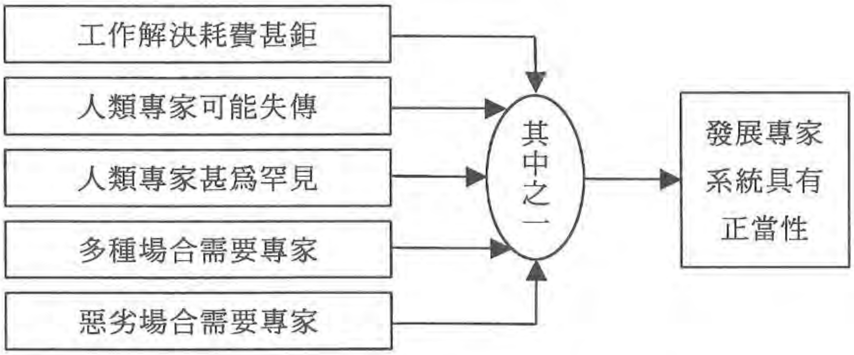
圖二顯示一個理想專家系統的基本架構，分別由使用者介面、資料庫、知識庫、知識擷取介面、推論機、解釋介面、和自我訓練機制等七個基本組成單元所構成(Martin and Oxman，1988)。使用者介面是使用者與專家系統間的橋樑，不僅需將使用者的問題轉成專家系統可理解的形式，同時也是專家系統向使用者提出問題並獲取答案的窗口。資料庫是儲存資料之所在，所儲存的資料多爲相關的背景或基礎資料，主要之目的在減少必須由使用者提供的背景或基礎資料，以避免因背景或基礎資料不足或錯誤而導致推論發生錯誤。知識庫則是儲存專家知識之所在，儲存的方式不僅需要便於存放，也需便於取用。專家系統中常用的知識表達結構(方式)可分爲規則(rules)、架構(frames)、和語意網絡(semantic networks)等三種。知識擷取介面則是將專家知識存入知識庫的部份，一般都是先由知識工程師和專家經長期討論後，將專家的知識進行歸納與整理，並轉爲最合適的知識表達結構，然後經由知識擷取介面，將整理後的知識存入知識庫中，以確保知識庫系統的完整。專家系統中推論機的功能就相當於人類的大腦，推論機利用知識庫中所儲存的知識與資料庫中儲存的事實，配合由使用者提供的訊息，進行推論以回答諮詢者的問題。若推論機所使用的策略改變，則整個專家系統的運作方式亦將隨之變更。如同人類進行推論時，常會視問題的類型採用不同的推理方式，專家系統中常見的推論機制也可分爲向後鍵結(backward chaining)、向前鍵結(forward chaining)、寬度優先搜尋(breadth-first search)、深度優先搜尋(depth-first search)、啓示搜尋(heuristic search)、…等多種。由於進行推論時，對於觀測到的現象常具有某種程度的不確定性，因此專家系統所用的推論機最好也能容許不確定性(uncertainty)的存在，並將推論所得的多種可能答案依據其不確定性的程度進行評比。解釋介面可以在獲得答案後，向使用者說明曾根據哪些規則而推出這樣的結果；也可以在推論的過程中，以交談的方式說明目前的推論結果，以及下一步推論的方向與理由，這是專家系統的特色，不僅可以協助知識工程師的偵錯工作，尤其可以幫助使用者回答問題，並提高使用者的信心。自我訓練機制，則可減少知識工程師與領域專家間溝通間所耗費的時間，並發掘新的診斷規則。

通常擬發展專家系統前應先評估其是否符合「可能」、「正當」、和「適切」三項要素(李，1989)。圖三顯示評估發展專家系統是否具有可能性的要件。有「真正的專家群存在」是發展專家系統的必要條件，經由「真正的專家群」不僅可以提供所需的專家知識，也可以正確引導系統的開發。專家群也必須能共同贊成對問題領域解答的選擇和精確性，否則專家系統可能會對同一問題產生不同的答案，令使用者無所適從。專家群也必須能清楚表達和解釋解決問題的步驟與方法，否則知識工程師將無法將專家的知識加入知識庫中。圖四則顯示通常用以評估發展專家系統是否具有正當性的要件，就擬發展之農業專

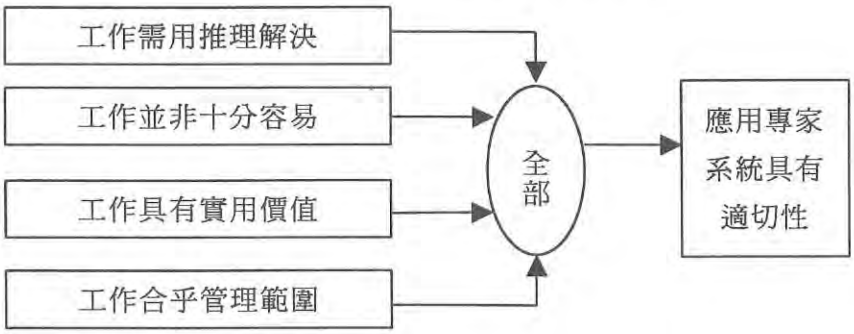
家系統而言，至少符合其中「專家罕見」、「專家需求大」和「專家知識可能失傳」等三項要件。圖五則是評估擬解決的問題是否適合利用專家系統解決的要件。適合用專家系統解決之問題的性質主要以推理爲主，而非數學上的運算；問題也必須具有相當的複雜性，因此不能僅利用傳統之排序方式解決；問題也必須有適當的



圖三、發展專家系統之可能性評估圖。



圖四、發展專家系統之正當性評估圖。



圖五、發展專家系統之適切性評估圖。

範圍，所設定專家系統的目標必須明確且具有實用意義，目標明確方能界定擬解決問題之範圍，而具有實用意義才能獲得足夠的資源以完成擬建置的專家系統。

當擬建置之專家系統完成符合「可能」、「正當」、和「適切」三項要素評估後，則需再依據所定出之擬解決問題的目標與範圍，進一步分析內含有哪些重要的子問題？解決這些問題需要哪些方面的知識？需要哪些重要的基本資料？解決問題時所使用的方法？以及知識和資料間相互的推論關係。然後由知識工程師對領域專家進行訪談，再將必須之知識與基本資料轉入相關知識庫和資料庫中。因而一個好的專家系統不是短時間內即可開發完成的，通常都是在逐步擴充成長下完成的，因爲1.專家不會記得所有重要及相關的知識，必須使其處於特定情形下，才能記起所忘記的；2.專家也不完全知道所有知識，仍然不斷學習新知；3.知識工程師並不能一次即萃取出各專家所有的相關知識；4.目標與環境一直在改變，相關的新知識必須適時的加入，預期外的情況發生，也需加入新知識；以及5.當使用者使用並瞭解專家系統後，將會要求更多的功能。

在專家系統程式撰寫方面，一些商用的專家系統開發軟體(expert system shell)已被開發出來(Bourbakis，1993)，包含了必要的程式工具，如使用者介面、推論機制、規則編譯器等，使得專家系統的開發工作更爲簡便。但是由於一個完整之專家系統中需包含多項的功能，其中有些功能不一定內含於擬選用之商用專家系統開發軟體中，因此最好能瞭解多種專家系統開發軟體及其他工具軟體的功能，結合不同功能之軟體搭配使用以取其特點。所以爲便於日後系統功能的擴充和修改，整個專家系統最好能由許多具獨立功能的模組整合構成，而各模組所儲存或取得的資料與/或知識及其內含的功能都必須可以被呼叫的模組所利用。專家系統也應盡量利用通訊和網路事業發展所帶來的便利，以提高專家系統的服務效率，因此各類基本資料庫和知識庫均可留置於伺服主機上，不僅利於資料庫和知識庫的更新、維護、與管理，使用者也可經由連線取得最新的資訊與專家建議或上傳相關之產地資訊。系統之中文化也很重要，才能方便使用者應用與瞭解專家建議的內涵與精神。專家系統運作過程中，也必需能隨時查詢所使用到的專家知識與基本資料是由哪些專家及單位所提供，不僅便於系統的改進，同時也可讓使用者對這些專家和單位的貢獻有所認知。

參、國內外相關專家系統發展現狀

自1960年代美國史丹佛大學成功發展分子結構判釋系統(DENDRAL)和腦膜炎及血液傳染病診斷系統(MYCIN)之後，專家系統已在醫學、化工、電腦、教育、法律、管理、生物、軍事、農業、…等領域蓬勃發展(謝，1987；李，1989；Martin and Oxman, 1988；Barrett and Jones, 1989；Tuthill, 1993)。在農業專家系統方面，自從美國伊利諾大學的大豆病害診斷系統PLANT/ds 開發後(Michalski *et al.*, 1982)，

近年來國外在農業方面的所發展的專家系統已含括作物營養診斷、病蟲害管理、土壤管理、栽培管理、作物推薦、經濟分析、採收後處理、…等多類應用方向(e.g. Roach *et al*., 1985；Lemmon，1986；Thieme, *et al*., 1987；Plant *et al*., 1989；Clark *et al*., 1990；Pagano and Monari, 1990；Plant and Stone, 1991；Lauer, 1995；Thomas *et al*., 1995)。這些已開發的農業方面之專家系統多數均採用規則(rule-based)的方式進行推論，以處理作物生產中的一些定性的知識和專家的經驗。在基本資料庫方面，國外已有聯合國糧農組織(FAO)發展的 ECOCROP1 (ECOCROP1, 2001)，該資料庫內目前含有 1710 種作物，可提供適合作物生長的氣候、土壤等資訊之查詢；澳洲 CSIRO 則提供有約 150 種園藝作物的資料庫，除了提供適合作物生長之氣候與土壤資訊外，還包含氣象逆境發生的條件、栽培管理、儲運、病蟲害等資訊(Hackett and Carolane, 1982)；…等大型作物資料庫，可做爲自行發展作物資料庫時參考。

國外應用專家系統之經驗指出(Thomas, 2001)，若不利用專家系統，生產者可正確辨認果樹營養和病蟲害的比率僅有 29%，若使用專家系統則正確辨認的比率可提高達 50%，因此專家系統確可提高生產者的診斷能力。而農業推廣人員與真正的果樹專家在不使用和使用專家系統狀況下的辨認正確率，則分別爲 67%和 61%以及 70%和 64%，顯示該專家系統並不能提昇推廣人員或專家的診斷正確性，仍有改進的空間。但是，所有測試者均認爲該專家系統很具有管理與教育的價值。

中國大陸自 1992 年開始推動「智能化農業專家系統」的發展，主要根據農作物的種類、耕地的條件及自然氣候等因素，經由知識庫中農業專家的知識，指導農民進行生產作業。1996 至 1998 年間在北京、雲南、安徽、吉林四個省市開展了以農業專家系統爲核心的「智能化農業信息技術應用示範工程」，探索利用專家系統於農業生產的發展模式。到 2000 年，已建立了 20 個示範區、推廣了實用農業專家系統 156 個(錢，2001)。

台灣地區內以往有關農業方面專家系統之開發並不多見，據瞭解僅進行過稻田轉作土壤改良專家系統(Shen and Yang, 1991)、甘蔗營養診斷系統(申，1992。未發表)、…等少數之零星開發研究。雖然以往並未積極從事專家系統之建置，許多專家的經驗與知識已存在於各式農業圖鑑，農林廳及各農業試驗改良場所出版的作物栽培技術手冊，農業雜誌和書籍，以及農業研究人員發表之各式研究報告與出版品中，部份的基本資料庫也已開始電子化。可做爲知識與基本資料庫來源的國內發表資料部份已列於表一，這些知識和基礎資料若能適當整理，將可成爲建置整合型農業專家系統的基礎。至於發展專家系統所需的人力部份，雖然多所大學內均開設有介紹專家系統概念與實作的相關課程，但是主要仍集中於理工方面的科系，爲求能與農業界中各專業領域專家進行有效率的溝通，俾便整理專家們所提供的經驗與知識，仍然需大量培訓熟悉各專業領域的知識工程師。

表一、整合型農業專家系統中知識與基本資料庫國內可能來源參考表。

資料名稱	出版單位/網址
農業圖鑑	
台灣地區常見之作物營養障礙圖鑑	中興大學/農林廳/中華土壤肥料學會
蔬菜作物營養障礙診斷圖鑑	農試所
空氣污染物對作物危害徵狀圖鑑	農試所
病害診斷與作物保健	農試所
台灣草坪雜草彩色圖鑑	藥試所
新興蔬菜之開發與利用	農試所
技術手冊	
作物施肥手冊	農委會/農林廳
植物保護手冊	農委會/藥試所
八萬農業建設大軍訓練教材（技術類）	農委會/農林廳
農業推廣教育教材	農委會/農林廳
農技專刊/專訊	各地區改良場
雜誌/書籍	
農業世界	農業世界雜誌社
興農	興農雜誌社
台灣花卉園藝	財團法人台灣區花卉發展協會
台灣農家要覽	豐年社
電子資料庫	
國土資訊系統資料庫	http://ngis.moi.gov.tw/database/database.htm
重要農作物栽培技術	http://www.tpg.gov.tw/tdais/cultivate/important.html
農作物病蟲害防治資料庫	http://www.ppc.tari.gov.tw/植物保護/indexnew.html
植物保護手冊	http://www.tactri.gov.tw/
農業產銷班資訊服務網	http://farm.coa.gov.tw/
農產運銷資訊網	http://www.amis.gov.tw/

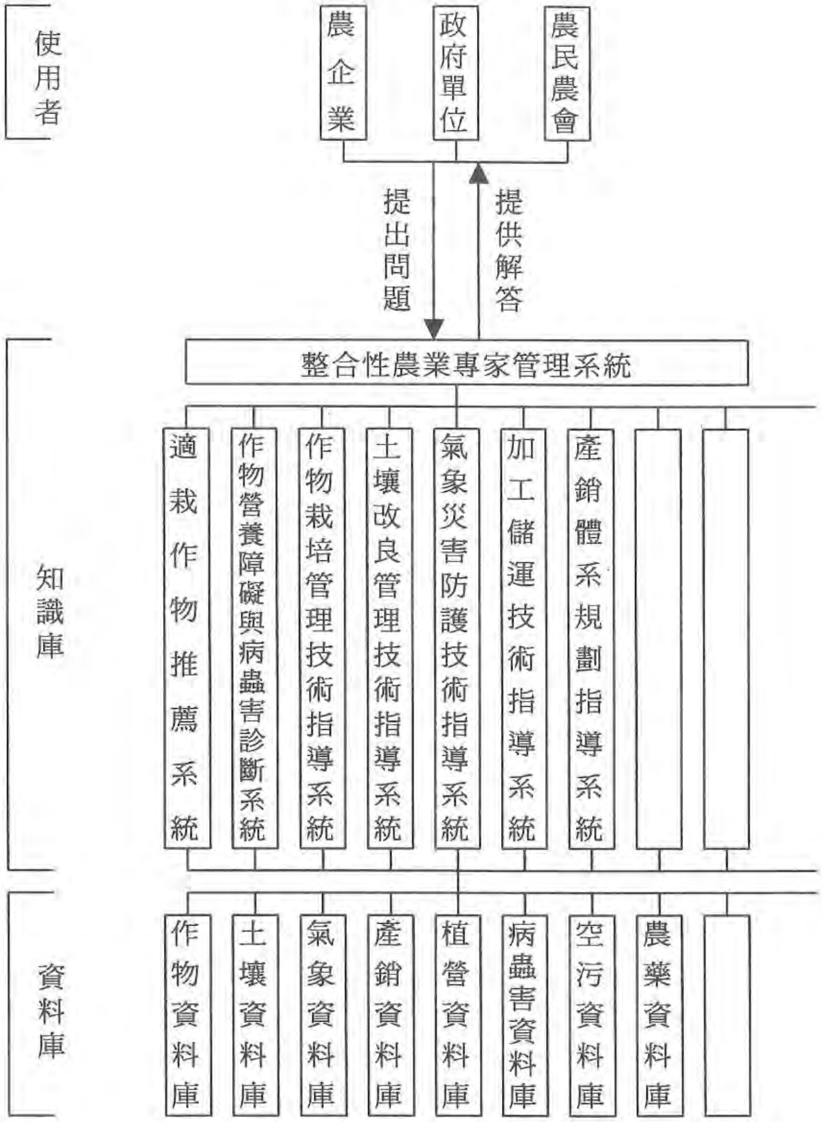
註：本表僅列出初步搜尋結果，個人型研究成果也未列入。

肆、整合型農業專家系統的初步建置構想

農業生產並非單純的問題，若擬發展真正能有效協助解決農業生產問題的農業專家系統，則必須能包含多方面專家的經驗與知識，以及相關的基本資料庫，爲使日後必定會逐漸發展出的各特定目標專家系統具有相容性，又能減少對建置基本資料庫的重複投資，最好在發展之初即朝向建置整合型農業專家系統的方向進行，以便未來能有效整合各類具有特定目標的專家子系統(圖六)。

基於對農業以往研究成果和未來發展趨勢粗淺的瞭解與認知，擬提議先建置兩個專家子系統，分別爲適栽農作物的推薦系統，和作物營養障礙與病蟲害的診斷

系統。適栽農作物推薦系統的目標在提供具有競爭力的作物名單供農民選擇，以因應加入 WTO 後農業轉型的需求；作物營養障礙與病蟲害診斷系統則以能準確判釋造成作物生育障礙的因子為目標，以期能降低誤診的機率，並提供正確之施肥和噴藥等管理措施的建議。此兩子系統除各有其實用的意義外，也有相當數目的領域專家可提供其累積的經驗和知識，建置過程中所累積的開發經驗和設置的基礎資料庫，也將成為繼續建置整合型農業專家系統之重要基礎。



圖六、整合型農業專家管理系統發展架構示意圖。

就適栽作物推薦系統而言，將必須能依據作物和當地氣候與土壤之特性、土壤改良和硬體設備之投資、遭受氣象災害損失的風險評估、以及市場價格等因素，提供具潛力的作物的評比名單。因此認知到該系統至少應包含以下所述之有關作物、氣候、土壤、產銷等方面的基本資料庫與專家知識庫。在作物之基本資料庫方面，需儘可能含括多種作物有關主要產地、用途、生育期長、可能產量、適合作物生長之氣候與土宜條件、作物遭受氣象災害逆境之條件、以及基本栽培管理措施需求等資料，以做爲作物推薦的基礎，此資料庫可以經由專家訪談及收集國內外出版之作物相關資料之方式建立。在氣候基本資料庫方面，應可靈活提供當地在作物生長期內氣候特性之平均值與極端值，以及相關氣象災害發生之機率等資料，以供評估作物能否適合當地之氣候，此資料庫可利用中央氣象局、水資源局、農業氣象觀測網、…等單位長期累積的氣象資料，予以面化後建立。農業試驗所、水土保持局等單位所建置之土壤資料庫雖可提供當地土壤的一般特性，但最好仍能輔以現場的調查資料。作物產銷資料庫中將收集有關作物之種植面積、產期、價格、…等資訊，可經由國內外相關之產銷資訊網收集相關資料建置。在知識庫方面應包含土壤改良技術、氣象災害風險評估、栽培管理措施難易、經濟分析、…等方面的知識與經驗。整個系統將必須做到能依據作物和當地氣候與土壤之特性、土壤改良和硬體設備之投資、遭受氣象災害損失的風險評估、以及市場價格等因素，提供具潛力之作物的評比名單。

就作物營養障礙與病蟲害診斷系統而言，將必須可以區別作物生育過程中因營養缺乏或過量、病蟲害、或空污傷害所產生之傷害，並提出因應的對策，因此需包含氣象、土壤、植物營養、病蟲害、空污傷害以及肥料和農藥等方面的基本資料庫與專家知識庫。氣象資料庫需能提供當地近期內的氣象資料，如溫度、濕度、雨量、風向、…等變化的情形，此資料庫最好能與中央氣象局的即時系統連線，以提供必要之最新資料。土壤資料庫應能提供當地土壤特性的背景資料，植物營養、病蟲害、和空污傷害資料庫則應提供各類型傷害的圖鑑資料，以協助現場辨識之用。肥料和農藥基本資料庫中，則存放所適用的病症、用量、與用法的基本資料，以協助列出因應對策。在知識庫方面，則應包含由相關領域專家所提供的診斷知識與經驗。在診斷過程中，必然包含許多有關田間作物出現之病徵、顏色、…等變化的問題，此時應儘可能利用基本資料庫中所存放的圖鑑資料，以降低因個人認知差異所導致的誤判可能性。

伍、結　語

專家系統具有整合、累積領域專家之知識與經驗的功能，未來將被普遍接受與應用，並成爲一種重要工具。及早開始籌畫建置整合型的農業專家系統，除可儘早有系統的永久保存農業界各領域專家們長

期累積的知識與經驗外，在發展過程中所培養之各專業領域的知識工程師和建置的基本資料庫，對於未來發展其他各種不同功能之農業相關專家系統時，將可收事半功倍和相得益彰的功效。

在相關專家系統之發展過程中，亦可讓參與人員清楚明瞭目前研究成果不足之處，進而發掘在其專業領域中值得繼續努力的研究方向。以農業氣象研究爲例，除了傳統之生物氣象研究方向外，對於氣象資料整理、氣象災害防護、氣象災害監測、設施微氣象環控、…等方向之研究，將可在氣象方面提供建置專家系統必要的基本資料與專業知識。

在國內農業面臨加入世界貿易組織(WTO)後之國際競爭壓力，以及強調發展知識經濟的二十一世紀初期，若能儘速開發具整合性功能的農業專家系統，應可顯著提升現場推廣人員的服務品質與水準，協助農民開發與生產高品質的作物，以增加生產收益。除有利於增強我國農產品在加入世界貿易組織(WTO)後的競爭力，並可提高農地農用的誘因，避免農地荒廢損毀，將有助於我國農業的永續發展，和所有國民繼續享用農業提供之生態與生活的機能。

陸、參考文獻

李家祺。1989。人工智慧與專家系統。松崗。pp. 612。

謝明興。1987。專家系統。松崗。pp. 631。

錢曉虎。2001。中國智能農業領域專家趙春江：讓電腦幫農民種庄稼。http://www.pladaily.com.cn/big5/pladaily/2001/03/19/20010319001108_IT.html

農委會。2001。邁進二十一世紀農業新方案。http://www.coa.gov.tw/policy/21th_project/21th_coa.htm。

Barrett J. R. and D. D. Jones. 1989. *Knowledge Engineering in Agriculture*. ASAE monograph No. 8. ASAE.

Bourbakis, N. G. 1993. *Knowledge Engineering Shells: Systems and Techniques*. World Scientific.

Clark, N. D., J. A. Stone and T. J. Vyn. 1990. Conservation tillage expert system for southwestern Ontario: Multiple experts and decision techniques. AI Applications 4: 78-84.

ECOCROP1. 2001. http://www.clues.abdn.ac.uk:8080/directory/Crop/Crop15.html

Hackett, C. and J. Carolane. 1982. *Edible Horticultural Crops*. Academic Press.

Lauer, J. G. 1995. SELECT!: crop variety selection software for microcomputers. J. Prod. Agric. 8: 433-437.

Lemmon, H. E. 1986. COMAX: An expert system for cotton crop management. Science 233:29-33.

Martin, J. and S. Oxman. 1988. *Building Expert Systems*. Prentice-Hall. pp.457.

Michalski, R. S., Davis, J. H., Bisht, V.S. and Sinclair, J. B., 1982. PLANT/*ds: an expert consulting system for the*

diagnosis of soybean diseases. Proc. European Conference on Artificial Intelligence, Orsay, France, July: 133--138.

Pagano, A. and M. Monari. 1990. AgrES - an expert system for wheat fertilization. Proc. 3rd Int. Congress for Computer Technology (Integrated Decision Support Systems in Agriculture – Successful Practical Applications), Frankfurt, Germany, pp. 199-204.

Plant, R. E., F. G. Salom, J. A. Young and R. E. Rice. 1989. CALEX/Peaches, an expert system for the diagnosis of peach and nectarine disorders. HortScience 24: 700.

Plant, R. E. and N. D. Stone. 1991. *Knowledge- Based Systems in Agriculture*. McGraw-Hill.

Rao, J. P. 2001. Expert systems in agriculture. http://www.manageagri.com/managelib/Faculty/PanduRanga.htm。

Roach, J. W., R. S. Virkar, M. J. Weaver, M. J. and C. R. Drake. 1985. POMME: a computer-based consultation system for apple orchard management using Prolog. Expert System 2:56-69.

Shen, Y. and T. C. Yang. 1991. Soil expert diagnosis system. Proc. Int. Seminar on the Application of Computer in Agricultural Technology. Taichung, Taiwan. 24-1~24-13.

Thomas, M. B., J. H. Crane, J. J. Ferguson, H. W. Beck and J. W. Noling. 2001. Two computer-based diagnostic system for diseases, insect pests, and physiological disorders of citrus and selected tropical fruit crops. http://www.cieer.org/mthomas/papers/hortech.html.

Tuthill, G. S. 1993. *Knowledge Engineering: Concepts and Practices for Knowledge-Based Systems*. TAB Professional and Reference Books.

Thieme, R. H., J. W. Uhrig, R. M. Peart, A. D. Whittaker and J. R. Barrett. 1987. Expert system technique applied to grain marketing analysis. Computers and Electronics in Agriculture 1: 299-308.

Thomas, M. B., H. W. Beck, J. H. Crane, J. J. Ferguson and J. W. Noling. 1995. A computer-based diagnostic system for diseases, disorders and pests of subtropical and tropic fruits. HortScience 30: 758.

Chapter 4 Integrated Agricultural Expert Management System and Agricultural Production

Yuan Shen

Department of Soil and Environmental Sciences
National Chung-Hsing University

ABSTRACT

Expert systems, being capable of integrating and accumulating the knowledge and experiences of domain experts, will gradually be applied in many agricultural activities requiring decision-making. In this paper, practical values of developing agricultural expert systems were first discussed. Basic concepts, ideal structures, and current stands of expert systems were also described. Finally, a basic frame regarding developing an integrated agricultural expert management system was proposed. When designing the research direction for the new era, the development of an integrated agricultural expert management system is worth of sincere consideration.

Key words: Crop production, Soil and fertilizer, Plant protection, Agricultural meteorology, Expert system, Database.

農業氣象之應用與發展
第五章　台灣地區農業氣象觀測網之建立與展望
47 - 68, 2001

第五章　台灣地區農業氣象觀測網之建立與展望

林民生[1]　廖志翔[2]　梁仁有[2]

[1] 中央氣象局應用氣象組
[2] 中央氣象局應用氣象組農業氣象科

摘　　要 ---------- 48
壹、前　　言 ---------- 48
貳、農業氣象觀測網之規劃與布建 ---------- 49
參、農業氣象資料之取得與應用 ---------- 57
肆、農業氣象人才培訓 ---------- 58
伍、預期效益 ---------- 58
陸、未來展望 ---------- 59
柒、結　　語 ---------- 60
捌、參考文獻 ---------- 60
英文摘要 ---------- 61
附　錄 ---------- 62

第五章　台灣地區農業氣象觀測網之建立與展望

林民生[1]　廖志翔[2]　梁仁有[2]

[1]中央氣象局應用氣象組
[2]中央氣象局應用氣象組農業氣象科

摘　要

本研究針對我國農業氣象之發展與目標、農業氣象觀測網之規劃與布建、一級與二級農業氣象站之設備與裝設地點、中央電腦連線系統、農業氣象資料之取得與應用、農業氣象人才培訓、預期效益及未來展望作探討。

關鍵詞：農業氣象觀測網、農業氣象資料、人才培訓。

壹、前　言

台灣地區因地處亞熱帶，復以中央山脈南北縱走而造成複雜地形，各地分區氣候迥異。全年各類災變天氣(如乾旱、梅雨、颱風及寒流等)頻繁，除常造成農業災害外，並導致各地區作物栽培之氣候限制因子截然不同。如何有效地利用台灣地區的氣候資源，配合農作物的生長，以提高其產量和品質，實具有其經濟價值與挑戰性。以往一般農業試驗研究單位附設之農業氣象站，所使用之氣象儀器多屬傳統之機械式儀器，誤差較大；常因缺乏整合性的氣象資料為輔佐，以正確闡釋所得之試驗結果，更無法配合進行局地的農業氣象試驗。有鑑於此，中央氣象局與行政院農業委員會曾於民國七十四年七月十六日在嘉義氣象站聯合舉辦「農業氣象作業觀摩會」，與會人士包括國內農業界學者專家和各農業改良場、試驗所等相關農業單位之主管人員。該次觀摩會針對**我國農業氣象之發展與目標**，曾做了下列三點原則性之決議供日後施政遵行：

(一) 農業氣象資料的蒐集與運用是農業資源規劃的重要工作，往後農業氣象的發展工作將由行政院農委會負責推動。

(二) 由中央氣象局協助規劃，建立完整之台灣地區農業氣象觀測網，逐年購置或汰舊換新各農業試驗研究單位的非自動化農業氣象觀測設備，改以新型自動化觀測儀器。

(三) 加強農業氣象人才的培育。

貳、農業氣象觀測網之規劃與布建

行政院農委會爲積極發展農業氣象，並有效利用台灣地區的氣候資源，自民國七十五年度起即與中央氣象局合作規劃農業氣象觀測網計畫，並委託中央氣象局協助共同執行，期限由民國七十五年七月至八十年六月。該項計畫共建立一級、二級農業氣象站各十三站，後續期間農委會又撥款補助設立二站。該觀測網至民國

表 1. 台灣地區農業氣象觀測網一級農業氣象站各站基本資料

站　名	站號	海拔高度 (m)	經度 緯度	地　址 電　話	本局設站起始年月
桃園區農業改良場	72C44	33.5	121° 01'30" 24° 57'	桃園縣新屋鄉 327 後庄村 16 號 TEL:03-4768216~9 轉 212 FAX:03-4768477	1987/4/1
茶業改良場	82C16	195	121° 12' 24° 54'	桃園縣楊梅鎮 326 金龍里 324 號 03-4822059 轉 552	1987/7/1
桃園區農業改良場五峰工作站	72D08	1208	121° 09' 24° 37'	新竹縣五峰鄉 31 竹林村羅山巷 8 號 TEL:035-851487,852180　FAX:	1995/6/1
苗栗區農業改良場	K2E36	100	120° 49' 24° 30'	苗栗縣公館鄉 363 館南村 261 號 TEL:037-222111 轉 351　FAX:037-221277	1989/2/13
農業試驗所	G2F82	85	120° 40' 24° 02'	台中縣霧峰鄉 413 中正路 189 號 TEL:04-23302301~2 轉 711 FAX:04-23338162	1989/2/1
台中區農業改良場	72G60	19	120° 30'24" 24° 01'07"	彰化縣大村鄉 515 田洋村松槐路 370 號 TEL:04-8523101~2 轉 310,312　FAX:	1987/4/1
台大實驗林溪頭營林區	U2H48	1150	120° 47' 23° 40'	南投縣鹿谷鄉 558 內湖村森林巷 9 號 TEL:049-2612111 轉 3009,3014FAX:049-2612111	1990/2/1
台南區農業改良場雲林分場	72K22	35	120° 28' 5" 23° 38'15"	雲林縣斗南鎮 630 復興路 1~15 號 TEL:05-5970728,5977357 FAX:05-5960245	1987/4/1
水產試驗所台西分所	A2K36	1	120° 10'56" 23° 43'12"	雲林縣台西鄉 636 中央路 271 號 TEL:05-6982921 轉 211　FAX:05-6983158	1993/3/15
台南區農業改良場義竹工作站	72M36	6	120° 14'10" 23° 20'15"	嘉義縣義竹鄉 624 中平村 84 號 TEL:05-3412416,3417443 FAX:05-3417413	1989/3/1~/9/12 1989/9/13 故障 1992/2/1 恢復
畜產試驗所	B2N89	31	120° 19'39" 23° 03'38"	台南縣新化鎮 712 那拔里牧場 112 號 TEL:06-5911211 轉 251~253 FAX:06-5911182	1990/2/1
高雄區農業改良場	72Q01	24	120° 30' 22° 40'	屏東市 900 民生路農事巷 1 號 TEL:08-7229461~4 轉 167　FAX:	1987/4/1
水產試驗所東港分所	A2Q95	5	120° 26'40" 22° 28'20"	屏東縣東港鎮 928 豐漁里 67 號 TEL:08-8324121 轉 208~9 FAX:08-8320234	1990/2/1

畜產試驗所恆春分所	B2Q81	20	120° 48' 21° 58'	屏東縣恆春鎮 946 墾丁里牧場路 1 號 TEL:08-8861341~4 轉 270 FAX:08-8861345	1994/4/1
花蓮區農業改良場蘭陽分場	72U48	27	121° 42' 24° 42'	宜蘭縣三星鄉 266 大義村大義路 35~1 號 TEL:03-9899115,9899101 FAX:03-9899313	1992/7/1
花蓮區農業改良場	72T25	36	121° 34' 23° 58'	花蓮縣吉安鄉 973 吉安村吉安路二段 150 號 TEL:03-8535915,8521108~10 fax:03-8533740	1987/4/1
台東區農業改良場斑鳩分場	72S20	240	121° 04' 22° 50'06"	台東縣卑南鄉 954 美農村 22 號 (台東市 950 中華路一段 675 號) TEL:089-571001 FAX:089-571001	1987/4/1

觀測項目：平均氣溫、絕對最高溫度、絕對最低溫度、露點溫度、相對濕度、降雨量、平均風速、瞬間極大風速、瞬間極大風速之風向、最多風向、日照時數、日射量、蒸發量、氣壓(只有東港分所有觀測)、地溫(5cm)、地溫(10cm)、地溫(20cm)、地溫(30cm)、地溫(50cm)、地溫(100cm)。

90 年為止共設立二十八處農業氣象站，其中一級農業氣象站十七站，二級農業氣象站十一站。至於設站地點的選擇係以山區、偏遠地區又能有效管理為優先考量，且不與中央氣象局既有之綜觀氣象站重疊，使氣象站分布更均勻，氣象資料可相輔相成更可提高其應用性。各農業氣象站站之觀測儀器設備均由農委會撥款補助，其基本站況如表一、二所示。茲將一級農業氣象站及二級農業氣象站的氣象觀測設備、裝設地點，概述於後：

一、一級農業氣象站

1、氣象觀測設備

本計畫所列之一級站係指設有精密具現代化之農業氣象自動觀測系統，且觀測項目齊全者。觀測項目計有：平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫、露點溫度、相對濕度、降雨量、平均風速、瞬間最大風速與風向、最多風向、日照時數、日射量、蒸發量、地溫等。此一農業氣象自動觀測系統的主要構造，包括特殊的感應器、信號轉換器、類比記錄器、打點式記錄器、資料蒐集器、印表機、UPS不斷電裝置和避雷保護裝置，另備有阿斯曼乾濕球溫度計，供校驗用。

其中感應器部份計有：(1)溫度露點計：其溫度感應器採用防水白金阻抗式，露點感應器採用氯化鋰塗抹式；(2)地溫計：六支，感應器採用防水白金阻抗式，測定深度為 5、10、20、30、50 及 100 公分；(3)風向風速計：螺旋槳式；(4)全天空日射計：熱電堆式，測定波長範圍為 0.3 微米至 3 微米；(5)雨量計：傾斗式，每次傾倒雨量為 0.5 公厘；(6)A 型蒸發皿：直徑為 120 公分。上述各感應器將感應所產生的類比信號，經過信號轉換器，傳送至共有三十二個頻道之資料蒐集器(datalogger)儲存與運算；(7) 日照時數計：採用康培司托克日照計，為人工觀測，每日一次。同時，並有風速、風向三筆式類比記錄器，以及氣溫、相對溼度、雨量及日射量打點式記錄器，可連續記錄瞬時的變化情形。部份站則有依當

地需要而另增觀測項目者，如水產試驗所東港分所增設氣壓及水溫觀測，畜產試驗所則有淨輻射量之測定。

該系統所需的固定主程式，存於資料蒐集器可編程式的存貯器內，並可依需要由鍵盤鍵入各種程式於固定存貯器內。譬如該系統的資料印出時距，可配合使用需要而調整，計有 1、2、5、10、15、20、30 及 60 分鐘等 8 種選擇。目前此一系統所得之觀測資料，係由印表機逐時印出，除有日報表外，並按旬、按月列印各旬或各月之總計與平均值。該系統之配置流程圖如圖 1 所示。

表 2.台灣地區農業氣象觀測網二級農業氣象站各站基本資料

站　名	站號	海拔高度(m)	經　度 緯　度	地　址 電　話	資料起始月	本局設站月	備註
種苗繁殖場	K2F75	470	120° 48' 24° 14'	台中縣新社鄉 426 興中街 46 號 TEL:04-25811311 轉 227	1916/1	1987/7	自計
茶業改良場魚池分場	82H32	850	120° 54' 23° 52'	南投縣魚池鄉 555 中山路 270 巷 13 號 TEL:049-2855106	1938/1	1987/7	自計
農業試驗所嘉義分所溪口農場	G2M35	16	120° 24' 23° 36'	嘉義縣溪口鄉 623 妙俞村下俞街 1 號 TEL:05-2771341 轉 338	1987/6	1987/6	自計
台南區農業改良場	72N10	15	120° 12'10" 22° 59'	台南市東區 701 林森路一段 350 號 TEL:06-2679526 轉 274 , 06-2602005	1924/1	1987/7	自計
高雄區農業改良場旗南分場	72V14	24	120° 31' 22° 30'	高雄縣旗山鎮 842 廣福里南隆街 3 號 TEL:07-6613404,6622274	1987/6	1987/7	自計
茶業改良場台東分場	82S58	175	121° 07'25" 22° 54'37"	台東縣鹿野鄉 955 龍田村光榮路 4 號 TEL:089-551446	1984/12	1987/7	自計
茶業改良場凍頂工作站	82H84	390	120° 43'50" 23° 45'12"	南投縣鹿谷鄉 558 初鄉村仁愛路 255 號 TEL:049-2753960 轉 811	1989/10	1990/2	自動
茶業改良場文山分場	82A75	401	121° 37'18" 24° 57'25"	台北縣石碇鄉 223 格頭村北宜路 5 段 12 號 TEL:02-26651801~2 轉 33	1987/5	1990/2	自動
台東區農業改良場賓朗果園	72S59	290	121° 03'33" 22° 48'42"	台東縣卑南鄉 954 賓朗村改良場 31 號 TEL:089-224826	1985/3	1990/2	自動
林業試驗所福山分所	E2U55	600	121° 34' 24° 46'	宜蘭縣員山鄉 264 湖西村雙埤路福山 1 號 TEL:03-9228900~1 轉 200	1991/10	1991/10	自動
林業試驗所六龜分所多納工作站	E2V13	1050	120° 43' 46" 22° 47'23"	高雄縣茂林鄉 851 多納村 TEL:07-6981028	1986/1	1991/10	自動

觀測項目：平均氣溫、絕對最高溫度、絕對最高溫度、相對濕度、降雨量、平均風速、瞬間極大風速、瞬間極大風速之風向、最多風向、日照時數 (人工觀測)、日射量、蒸發量 (只有賓朗果園有觀測 120cm 蒸發量,其他自計的站則是觀測 20 cm 蒸發量)、地溫(5cm)、地溫(10cm)、地溫(20cm)。

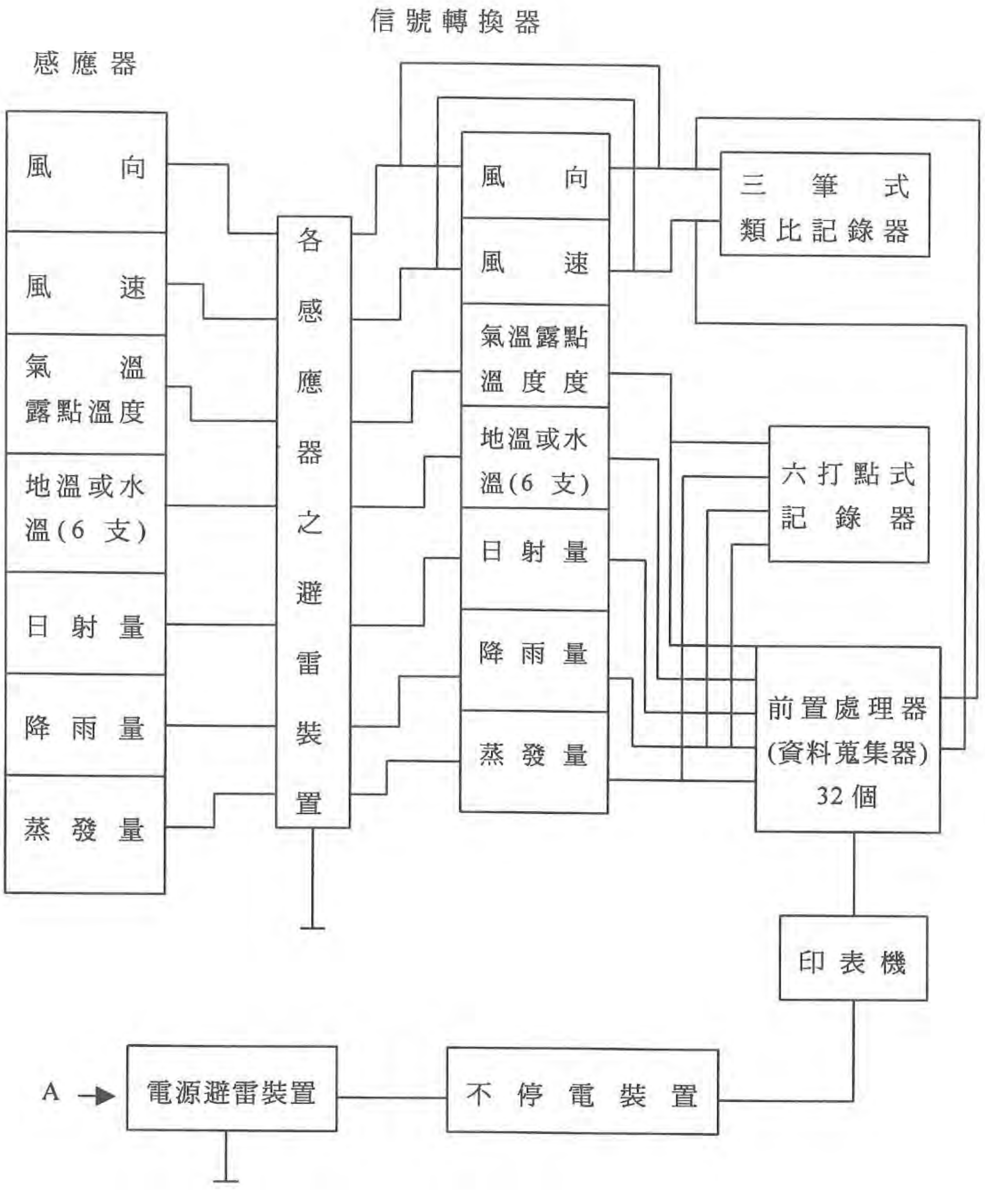


圖 1.一級農業氣象站農業氣象自動觀測系統之配置流程圖

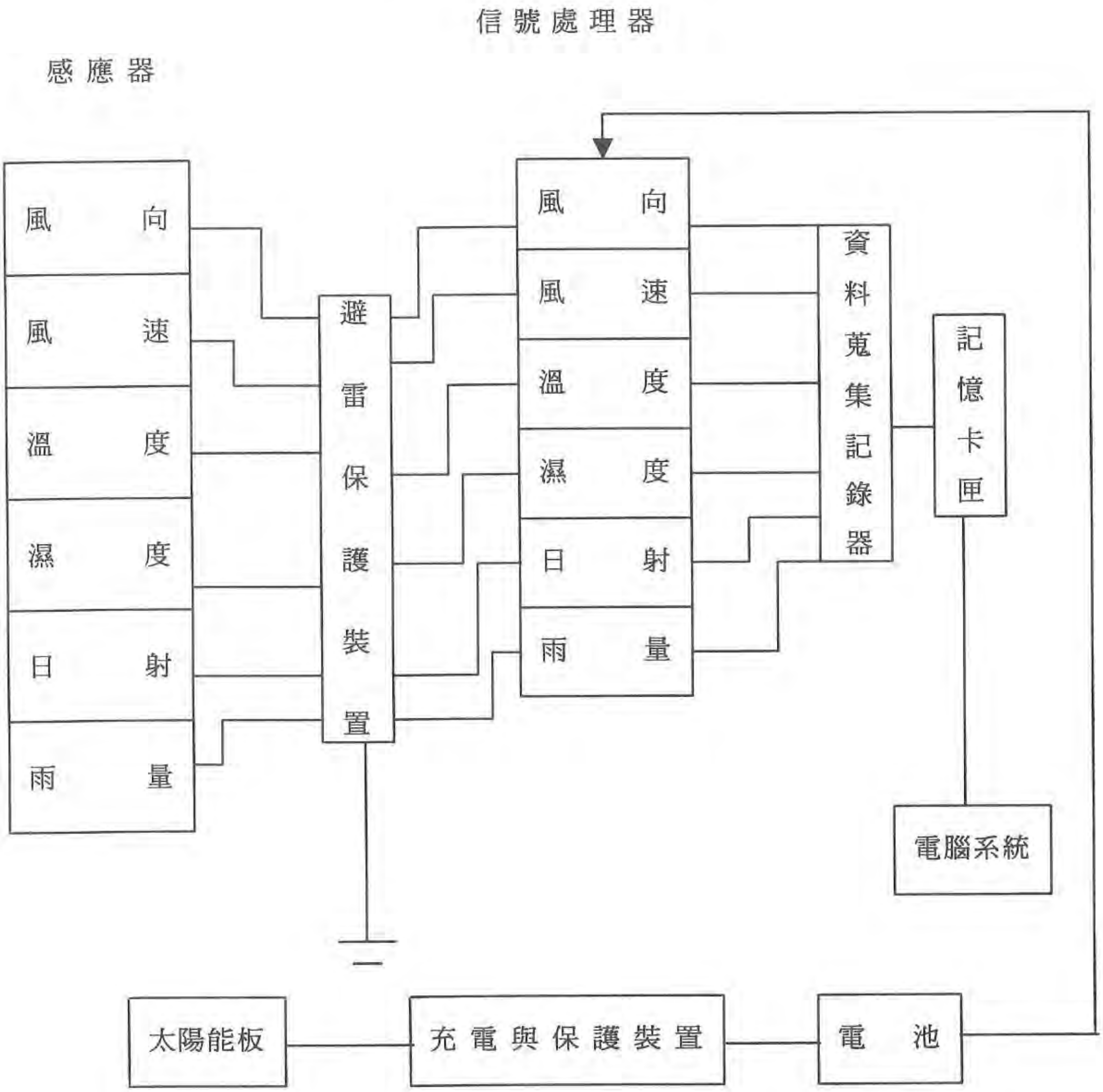


圖 2. 二級農業氣象站太陽能自動觀測系統配置流程圖

2、裝設地點

目前一級農業氣象站的裝設地點，計有桃園區農業改良場(桃園縣新屋鄉)、桃園區農業改良場五峰工作站(新竹縣五峰鄉)、茶業改良場(桃園縣楊梅鎮)、苗栗區農業改良場(苗栗縣公館鄉)、農業試驗所

(台中縣霧峰鄉)、台中區農業改良場(彰化縣大村鄉)、台大實驗林溪頭營林區（南投縣鹿谷鄉）、臺南區農業改良場雲林分場(雲林縣斗南鎮)、臺南區農業改良場義竹工作站(嘉義縣義竹鄉)、水產試驗所台西分所(雲林縣台西鄉)、畜產試驗所(台南縣新化鎮)、高雄區農業改良場(屏東市)、水產試驗所東港分所(屏東縣東港鎮)、畜產試驗所恆春分所(屏東縣恆春鎮)、花蓮區農業改良場蘭陽分場（宜蘭縣三星鄉）、花蓮區農業改良場(花蓮縣吉安鄉)、台東區農業改良場斑鳩分場(台東縣卑南鄉)等共十七站（表一）。其中民國 76 年 4 月桃園區農業改良場、茶業改良場、台中區農業改良場、臺南區農業改良場雲林分場、高雄區農業改良場、花蓮區農業改良場、台東區農業改良場斑鳩分場等七站除茶業改良場係逐次增購外，其餘各場皆一次建置完成；苗栗區農業改良場、農業試驗所、臺南區農業改良場義竹工作站於民國 78 年設立；民國 79 年則在台大實驗林溪頭營林區、水產試驗所東港分所、畜產試驗所等三處設站；民國 82 年建立水產試驗所台西分所；畜產試驗所恆春分所則在民國 83 年設站；原爲二級站之花蓮區農業改良場蘭陽分場及桃園區農業改良場五峰工作站則分別於民國 82 年及 84 年升級爲一級站。同時於民國 76 年三月在台中農改場舉辦該自動觀測系統的操作維護講習班，由承包廠商負責講授該系統的構造、功能以及儀器操作維護與保養方法。

二、二級農業氣象站

1、氣象觀測設備

原規劃二級農業氣象站之觀測儀器係以傳統自計式觀測儀器爲主，其項目包括：(1)康培司托克日照計；(2)自計溫濕度計；(3)自計地溫計；(4)自計雨量計；(5)阿斯曼乾濕球溫度計，(1)至 (4)項之各儀器記錄紙需每日更換。78 年度起之設站更改爲自動記錄，並利用太陽能板供應系統運作，不但無需人工觀測及每日更換記錄紙，並可節約能源。觀測項目計有：氣溫、最高氣溫、最低氣溫、相對濕度、降雨量、平均風速、瞬間最大風速與風向、最多風向、日射量、蒸發量等。該系統之配置流程圖如圖 2 所示。

2、裝設地點

目前二級農業氣象站的裝設地點可分二類，即 (1)傳統自計式觀測站：種苗繁殖場(台中縣新社鄉)、茶業改良場魚池分場(南投縣魚池鄉)、農業試驗所嘉義分所溪口農場(嘉義縣溪口鄉)、台南區農業改良場(台南市)、高雄區農業改良場旗南分場(高雄縣旗山鎮)、茶業改良場台東分場(台東縣鹿野鄉)，以上爲民國 76 年設站完成； (2)自動記錄觀測站：民國 79 年 2 月於茶業改良場凍頂工作站(南投縣鹿谷鄉)、茶業改良場文山分場(台北縣石碇鄉)、台東區農業改良場賓朗果園(台東縣卑南鄉)等三處建站；林試所福山分所（宜蘭縣員山鄉）及六龜分所多納工作站（高雄縣茂林鄉）則於 80 年設站完成；二級農業氣象站共計十一站。茲將各一、二級農業氣象站及中央氣象局所屬氣象站分佈圖列如圖 3 所示。

圖 3.台灣地區農業氣象觀測網農業氣象站分佈圖

三、中央電腦連線系統

中央氣象局為使各改良場與試驗所等農業氣象站之農業氣象觀測資料更有效運用，於民國八十年七月完成建立台灣地區農業氣象自動觀測系統電腦連線網路，將各一級農業氣象站之觀測資料由數據機經電話線傳輸至中央氣象局的主電腦系統上，並於農委會、農林廳（現為行政院農委會中部辦公室）及中央氣象局設立工作

站，可隨時接收及查詢資料（如圖 4 所示）。連線建立後，已可即時透過網路系統蒐集各農業氣象站的觀測資料，並消除以往郵寄之不便，隨時取得氣象資料，供資料分析、編印農業氣象旬報、氣象預報及即時預報系統等作業之應用參考。並由中央氣象局彙整各農業氣象站資料，製成旬報表與月報表以提供予農政相關單位參考使用。鑑於此一電腦連線設備經使用多年漸趨老舊，功能已不符當前作業所需，本局乃於民國八十八年六月完成汰換工作，更新資料蒐集之電腦連線軟硬體設備（如圖 5 所示）。 茲將該系統概述於後：

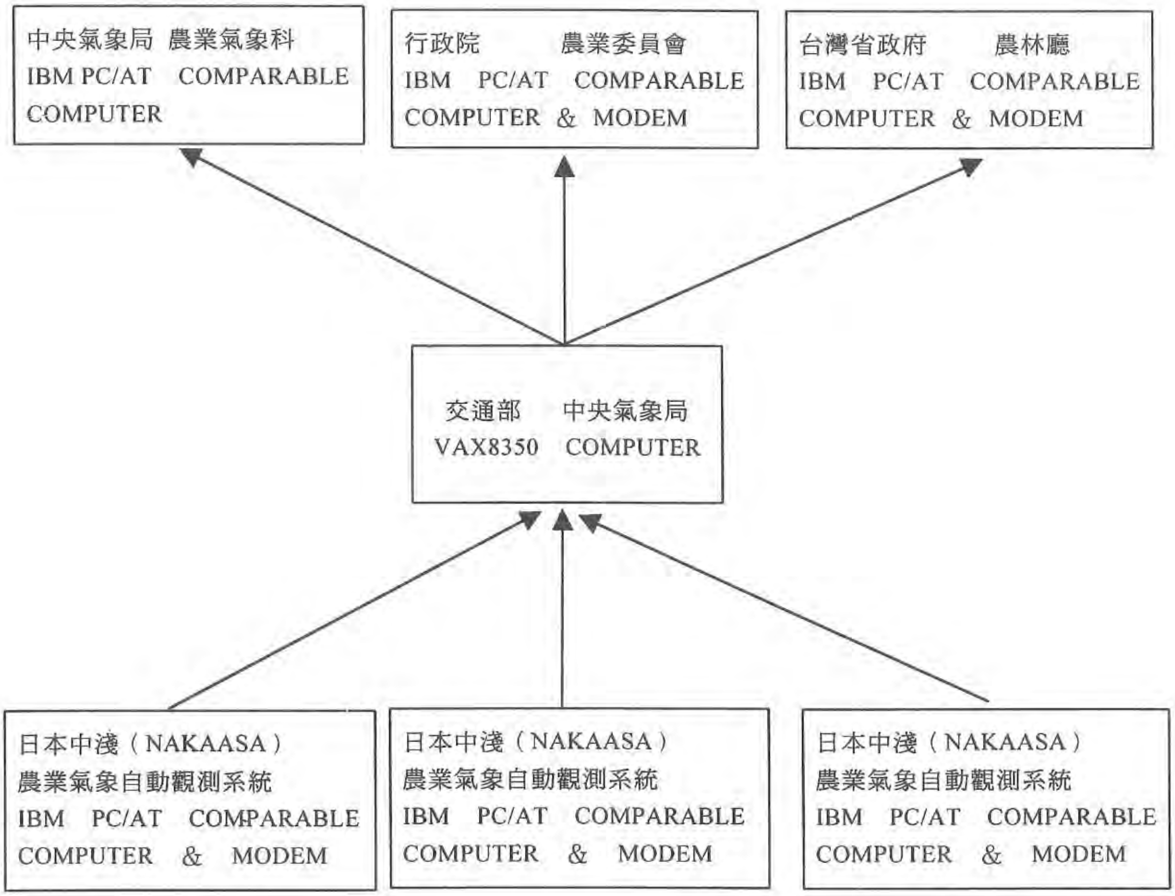


圖 4.農業氣象觀測網一級站電腦連線配置圖

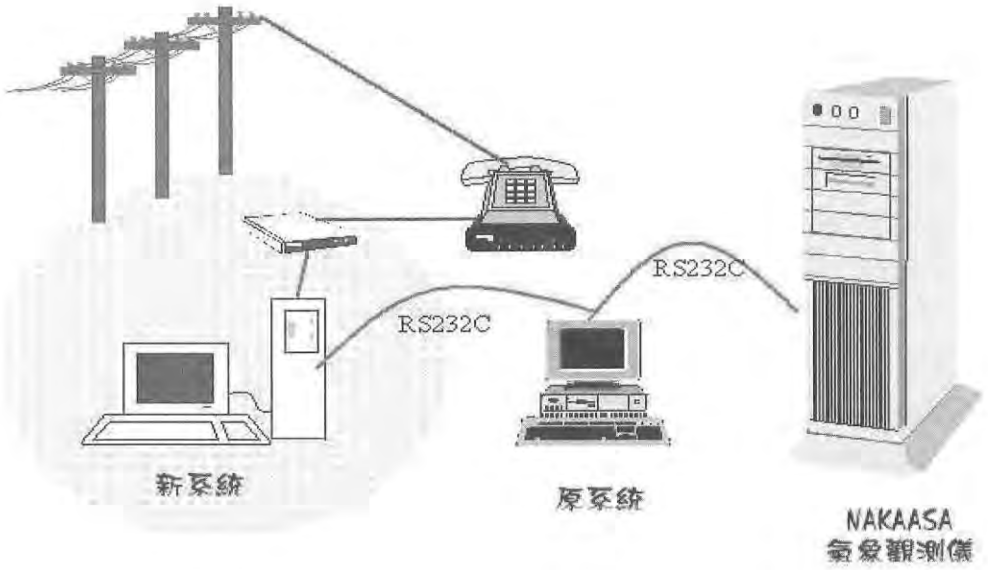


圖 5.台灣地區農業氣象觀測網連線新系統配置圖

1、資料搜集定時自動作業

本系統定期每小時接收一級農業氣象站經由 MODEM 所傳送之逐時資料，並監控及記錄網路傳輸狀態(經由 Router agr-rt 撥接進氣象局)。若資料無法準時送入，根據記錄可查知失敗原因是農業氣象站本身沒有資料、網路斷訊、本局機器故障、或是本系統失誤。資料庫登錄人員則會將缺失之資料人工補登入資料庫。

2、資料搜集人工作業

二級農業氣象站自動觀測逐時資料及部份專用氣象站之逐日資料，則以電子檔方式送入本系統，經轉檔後進入農業氣候資料庫。二級自計農業氣象站、本局所屬氣象站及部份專用氣象站之逐日資料，則以報表方式，由人工輸入本系統資料庫。

3、資料供應作業

本系統除供應各機關學校及農業氣象站之資料提供需求外，並定時 FTP 至本局資訊中心服務系統、WINS（即時預報）系統、第二組及第三組資料處理科，供天氣預報參考及一般民眾資料申請。資料供應方式說明如下:

(1) 每小時供應第二組及 WINS 系統一級農業氣象站逐時資料。
(2) 供應資料處理科氣候資料庫所有逐時、逐日及逐月資料。
(3) 每月供應服務系統 WEB 站農業氣象站之旬資料、月資料及農業氣象旬報資料。

參、農業氣象資料之取得與應用

農業氣象觀測網建立後，各農業改良場將此資料應用於作物病蟲害預警預報

（如花蓮農改場、台南農改場）、作物試驗研究（如台東農改場斑鳩分場之枇杷焚風試驗、農試所蔬菜生產之防雨與防寒設施研究、水試所水產養殖研究等）及研究氣候變遷對台灣農業生產與水資源利用的影響。而農業氣象資料之取得除由觀測網各農業氣象站直接供應當站資料外，亦可逕洽中央氣象局應用氣象組農業氣象科(02 2349-1037)取得，尚可利用以下各種管道取得各類氣象資訊：

1. 氣象錄音專線電話「166」（國語），「167」（客、閩南語）。
2. 氣象諮詢專線 (02) 2349-1234。
3. 氣象資訊語音傳真系統 (FOD) 020308166 。
4. 氣象資料申請專線（02）2349-1102。
5. 全球資訊網站址爲http://www.cwb.gov.tw。
6. FTP 伺服站址爲 ftpsv.cwb.gov.tw。
7. 電子郵件信箱爲 webqry@gwya.cwb.gov.tw。

其中全球資訊網站除可取得氣象局各類天氣預報資訊外，尚提供全球重要都市天氣、地震資訊、海洋氣象、衛星雲圖、各類天氣圖、紫外線指數與雨水酸鹼度值、農業氣象一週預報、農業氣象旬報及農業氣象觀測網一級站之旬、月報資料。

肆、農業氣象人才培訓

爲培育農業氣象人才，並提升農業氣象觀測人員的素質，中央氣象局與農委會曾於民國七十五年十月在嘉義氣象站聯合舉辦「農業氣象講習班」、並與農林廳於七十六年九月舉辦二級站之「農業氣象講習會」、旋於七十七年一月在花蓮再度辦理一、二級站「農業氣象講習班」、七十八年四月於台北中央圖書館舉辦「台灣地區農業氣象資源應用研討會」(曾文柄，1979)、八十年十一月在臺北舉辦「農業氣象災害預防及宣傳講習會」、八十一年五月在臺東舉辦「台灣地區農業氣象災害預防及農業氣象資源應用講習會」。八十二年則邀請國內外農業氣象相關學者返台講授，並於農業試驗所辦理「第三屆氣候變遷對環太平洋地區農業生產之影響」研討會，八十八年七月由中央氣象局舉辦「農業氣象作業人員講習會」講解觀測儀器作業系統與電腦連線之操作維護。此外，農委會農業試驗所農工系自民國 79 年起即有農業氣象研究室之設立。而中華農業氣象學會於民國 81 年之成立，對於培育農業氣象人才均發揮積極且長遠之貢獻。

伍、預期效益

農業氣象觀測網之建立預期可發揮下述效益:

(一) 農業氣象觀測網建立完成後，已使得各主要農業試驗研究單位的氣象觀測自動化或自計化，同時觀測項目齊全，包括氣溫、濕度、地溫、日照、雨量、風向風速、蒸發量及日射量之觀測，成爲標準的農業氣象站並獲得完整性的氣象要素觀測資料。本系統設立後已普遍性地提高農業氣象資料之正確性，同時加強農業氣象人員之培育訓練，奠定台

灣農業氣象發展的基礎,使台灣之農業氣候資源得以充分運用。

(二) 各農業試驗研究單位可利用自動化觀測系統，測定當地農田氣象環境的變化，以確切瞭解各種氣象因子對作物生育、栽培管理、病蟲害發生及品質與產量等之影響。並可配合當地的氣候和地理環境，進行區域性特殊作物的農業氣象試驗，由試驗所得結果，亦可提高區域性作物栽培技術的水準或提高產量與品質。

(三) 將前二項所得結果，加以統一運用，可做爲規劃台灣地區農業氣候區域及作物適栽區域的主要參考依據。不僅可減少氣象災害對農作物之影響，亦能有效地利用台灣地區的農業氣候資源，充分發揮「適地適作」及「適期適作」的積極功能。

(四) 該觀測網氣象站之佈點，均勻設置於全省各地，與中央氣象局所屬氣象站交織成互補之網路，可有效涵蓋本省各氣候區及地理位置，使氣象觀測資料之蒐集更趨完整性。

(五) 氣象作業單位與農政單位密切配合，適時提供各界所需資訊，同時加強宣導，使農友能接受新的農業氣象資訊與觀念，並有效運用，以減少災變天氣對農作物之侵害，提高農業氣象預報的效益，確保經濟建設成果。

陸、未來展望

展望未來農業氣象事業之發展，有下述數點供各界參採：

(一) 建置農業氣象資料庫及農業氣象資訊系統，以適時提供農業氣象資訊，減輕災變天氣對作物的影響。

(二) 各農業單位成立農業氣象研究室，加強農業氣象人才培育與建立微氣象的試驗研究，並研發各類作物氣候模式，以預報病蟲害發生、預測產量及提昇作物品質。

(三) 農業氣象觀測網建立完成，農業氣象觀測作業有了標準程序及依據，各地氣象資料能統一應用，可作爲規劃農業氣候資源之參考。

(四) 各地氣候資料建立後，瞭解當地氣候區域特性，可作土地利用之規劃，依地形、土壤特性及氣候條件，選擇高經濟價值且適合生態環境之作物，有效土地利用或調整耕作制度。

(五) 了解氣候與作物生長的關係後，可運用農業氣候資源、促進農業生產、發展精緻農業，配合農業政策規劃，協助國家經濟建設。

(六) 強化農業氣象觀測。

1、增添微氣象觀測儀器

民國九十年中央氣象局將購置一套移動式自動化微氣象觀測系統　，放置於嘉義氣象站的農業試驗田中，實施定期微氣象觀測，以測定農作物生產環境氣象因子的變化及相關的各種通量（土壤溫濕度、土壤熱流量、動量通量、可感熱通量、潛熱通量及渦流傳導係數）等微氣象變數。

2、永續經營農業氣象觀測業務

A. 評估現有農業氣象站納入中央氣象局合作測站之可行性

目前十七個一級農業氣象站的觀測儀器設備屬於各農業單位，自設置迄今已使用多年，雖有經常性的維護，但受限於經費，更新觀測儀器設備之意願並不高。隨著氣象科技、氣象儀器的日新月異與業務的發展，應有進一步的思維，中央氣象局可考慮評估將這十七個農業氣象站納入成爲氣象局合作測站之可行性。納編後該局將由目前被動式的情況，改變爲主動式的主導，可隨時因業務之需要作必要的觀測儀器系統更新與維護，不但能提高觀測資料的品質，確保觀測業務的正常運作，並使本局的農業氣象觀測能永續發展。

B. 增設山地農業氣象觀測站

由於台灣的高經濟作物，多種植於山坡地，因此山地農業氣象站的設置有其必要性，此等農業氣象觀測不但能測定山區農地氣象環境的變化，以瞭解不同高度的氣象因子對作物生產之影響，並可配合當地的氣候和地理環境，進行區域性特殊作物的農業氣象試驗。所蒐集的山地氣象資訊，亦可提供山地資源開發及水土保持規劃參考。未來將優先評估在南投縣仁愛鄉台灣大學梅峰山地實驗農場、台中縣東勢地區、南投地區及其他中部山區設置農業氣象站或合作測站之可行性。

C. 將現有之二級農業氣象站提昇爲一級農業氣象站之可行性

評估將自計式觀測儀器的十一個二級農業氣象站，更新爲全自動的觀測儀器，提昇成爲一級農業氣象站，使更具有農業氣象資訊取得之完整性。

柒、結　　語

農業氣象觀測網在行政院農委會與中央氣象局共同建立完成後，使得各主要農業試驗研究單位的氣象觀測自動化或自計化，並可即時獲得包括氣溫、濕度、地溫、日照、雨量、風向風速、蒸發量及日射量之正確觀測要素項目。各農業試驗研究單位可利用該等資訊，測定當地農田氣象環境的變化，以確切瞭解各種氣象因子對作物生育、栽培管理、病蟲害發生及品質與產量等之影響。並可配合當地的氣候和地理環境，進行區域性特殊作物的農業氣象試驗，以提高區域性作物栽培技術水準、產量及品質，並充分發揮「適地適作」及「適期適作」的積極功能；經了解氣候與作物生長的關係後，可運用農業氣候資源、促進農業生產及發展精緻農業與精準農業，配合農業政策規劃，協助國家經濟建設。經加強宣導，可使農友更能接受新的農業氣象資訊及其有效運用，以減少災變天氣對農作物之危害。未來將需繼續強化農業氣象觀測，增添微氣象觀測儀器，增設山地農業氣象觀測站，考量將現有之二級農業氣象站提昇爲一級農業氣象站，甚或評估將現有農業氣象站納入中央氣象局合作測站之可行性。

捌、參考文獻

曾文柄。1979。我國農業氣象發展之現況與展望。p.11-17。台灣地區農業氣象資源應用研討會論文輯，台北。

Chapter 5 Setup and Future Outlook of the Agrometeorological Measurement Network in the Taiwan Area

Jack Ming-sen Lin[1], Chih-shiang Liao[2], and Jen-yu Liang[2]

[1]Applied Meteorology Division, Central Weather Bureau

[2]Agrometeorology Branch, Applied Meteorology Division, Central Weather Bureau

ABSTRACT

This research focuses on the subjects concerning the development and aim of agrometeorology, the planning and deployment of the agrometeorologic measurement network, the equipment and positions of the first and the second classes of agrometeorologic stations, the network of the whole measurement system, the obtainment and application of agrometeorologic data, the training of agrometeorogic manpower, and the expectation and future outlook of the agrometeorologic measurement system.

Key words: Agriculture meteorological observation network, Meteorological data, Personal training and education.

附　錄

各農業氣象站觀測項目及時間

一級農業氣象站逐時資料格式

桃園場氣象站逐時資料(72C44)。資料起始年月 1987.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. **日照時數分兩種**，自 1987.4.1 起有康氏日照（人工記錄日資料）的日照時數。自 1989.7.4 起有自動日照時數（即時資料）。
2. 自 1989.6.10 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3. 1989.4.~觀測坪遷移

茶改場氣象站逐時資料(82C16)。資料起始年月 1987.7.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1988.8.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。日照時數無時資料。
2. 自 1989.5.31 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3. 自 1989.1.9 起才有雨量及地溫資料。

五峰工作站氣象站逐時資料(72D08) 。資料起始年月 1995.6.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1995.6.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。日照時數無時資料。
2. 自 1995.6.1 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

苗栗場（蠶蜂）氣象站逐時資料(K2E36)　。資料起始年月 1989.2.13~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1.　＊＊＊＊＊無日照時數。
2.　自 1992.6.24 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3.　2000.10.16.11:00~2000.10.20 觀測坪遷移。其中風速風向計至 10.30 才修好。

農試所氣象站逐時資料(G2F82)　。資料起始年月 1989.2.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1.　無康氏日照（人工記錄）的日照時數。自 1992.4.16 起有自動日照時數（即時資料）。
2.　自 1992.6.12 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3.　自 2000.4.20.11:00 起無自動日照時數時資料，在此之後時資料空白。

台中場氣象站逐時資料(72G60)　。資料起始年月 1987.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1.　自 1989.2.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。自 1999.6.26 起有自動日照時數（即時資料）
2.　自 1989.5.23 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

溪頭氣象站逐時資料(U2H48)　。資料起始年月 1990.2.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1.＊＊＊＊＊無日照時數。　　時資料日資料皆空白符號。
2.自 1992.6.25 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白符號。

雲林場氣象站逐時資料(72K22) 。資料起始年月 1987.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1987.9.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。日照時數無時資料。
2. 自 1989.5.23 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

*****1994.6.18 打雷故障~1995.5.23.17:00 才修好*****

台西分所氣象站逐時資料(A2K36) 。資料起始年月 1993.3.15~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. *****無日照時數。
2. 自 1993.3.15 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

義竹工作站氣象站逐時資料(72M36) 。資料起始年月 1990.3.1~1990.9.12 之後因颱風淹水故障至 1992.2.1 才又修復~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. *****無日照時數。
2. *****無蒸發量。

畜產試驗所氣象站逐時資料(B2N89)。資料起始年月 1990.2.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	淨輻射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1990.2.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。日照時數無時資料。
2. 自 1992.1.21 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3. 自 1993.4.27 才有淨輻射資料。(1993.4.29 資料才較完整)

東港氣象站逐時資料(A2Q95)。資料起始年月 1990.2.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	氣壓	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. ＊＊＊＊＊無日照時數。
2. 自 1994.2.26 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3. 自 1991.3.1 起才有氣壓資料。

高雄場氣象站逐時資料(72Q01) 。資料起始年月 1987.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1988.8.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。日照時數無時資料。
2. 自 1989.5.26 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

恆春分所氣象站逐時資料(B2Q81)。資料起始年月 1994.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1994.4.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。自 1999.3.31 起有自動日照時數（即時資料）。
2. 自 1994.4.1 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。
3. 1999.3.24.14:00~1999.3.30.16:00 遷移觀測坪。
4. 2001.5.28~2001.6.6 農業氣象室改建工程停機。

蘭陽分場氣象站逐時資料(72U48) 。資料起始年月 1992.7.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. 自 1993.1.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。日照時數無時資料。
2. 自 1993.1.1 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

花蓮場氣象站逐時資料(72T25) 。資料起始年月 1987.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. **日照時數分兩種**，自 1987.4.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。自 1987.10.24 起有自動日照時數（即時資料）。
2. 自 1989.1.10 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

斑鳩分場氣象站逐時資料(72S20)。資料起始年月 1987.4.1~~。

觀測時間	平均氣溫	絕對最高氣溫	絕對最低氣溫	露點	相對濕度	降雨量	累計降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日照時數	日射量	蒸發量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	地溫 30cm	地溫 50cm	地溫 100cm

1. **日照時數分兩種**，自 1988.9.1 起有康氏日照（人工記錄）的日照時數。自 1991.12.23 起有自動日照時數（即時資料）。
2. 自 1989.6.13 起才有蒸發量資料，在此之前資料空白。

二級農業氣象站（自動）逐時資料格式

茶改場文山分場(82A75)逐時資料。資料起始年月 1990.1.22~~。
茶改場凍頂工作站(82H84)逐時資料。資料起始年月 1989.12.13~~。
林試所福山分所(E2U55)逐時資料。資料起始年月 1991.10.~~。
林試所六龜分所多納工作站(E2V13)逐時資料。資料起始年月 1991.10.~~。

觀測時間	平均氣溫	最高氣溫	最低氣溫	相對濕度	雨量	累計小時降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日輻射量

台東農改場賓朗果園(72S59)逐時資料。資料起始年月 1990.2.7~~。

觀測時間	平均氣溫	最高氣溫	最低氣溫	相對濕度	雨量	累計小時降雨量	平均風速	最大風速	最大風速風向	日輻射量	蒸發量

二級農業氣象站（自計）逐日資料格式

種苗繁榮場(K2F75)逐日資料。資料起始年月 1987.7~~。
茶改場魚池分場(82H32)逐日資料。資料起始年月 1987.7~~。
農試所嘉義分所溪口試驗農場(G2M35)逐日資料。資料起始年月 1987.7.~~。
台南區農業改良場(72N10)逐日資料。資料起始年月 1987.7~~。
高雄區農業改良場旗南分場(72V14)逐日資料。資料起始年月 1987.7~~。
茶改場台東分場(82S58)逐日資料。資料起始年月 1987.7~~。

觀測時間	平均氣溫	最高氣溫	最低氣溫	相對濕度	雨量	地溫 5cm	地溫 10cm	地溫 20cm	日照時數

Applications and Development of Agrometeorology
Chapter 6 Interactions Among Atmosphere, Soil, and Vegetation
69 - 92, 2001

Chapter 6 Interactions Among Atmosphere, Soil, and Vegetation

Wen-Yih Sun

Department of Earth and Atmospheric Sciences, Purdue University,
West Lafayette, IN 47905, U.S.A.

ABSTRACT ---------- 70

1. INTRODUCTION ---------- 70

2. ONE-DIMENSIONAL BASIC EQUATIONS ---------- 72

3. RESULTS ---------- 77

4. SUMMARY ---------- 87

5.REFERENCES ---------- 88

摘 要 ---------- 91

Chapter 6 Interactions Among Atmosphere, Soil, and Vegetation

Wen-Yih Sun

Department of Earth and Atmospheric Sciences, Purdue University,
West Lafayette, IN 47905, U.S.A.

ABSTRACT

Fundamental equations of the atmosphere-land surface interactions are presented. Based upon those equations, we have developed the atmospheric and land-surface models at Purdue University. The numerical results show the models are capable of reproducing the major features of observations. Models also help us to understand the physical processes involved in atmosphere, soil and vegetation. However, it is obvious that more observational data should be collected and more scientists in different disciplines should work together to study the mechanisms at and near the land surface, which is crucial before a comprehensive model can be developed to predict the change of climate, water resources, and ecology accurately.

Key words: Basic equations, Potential temperature, Mixing ratio, Richards' equation, Darcy-buckingham equation, Matric potential, Hydraulic conductivity, Resistance, Minimum stomatal resistance, Height of canopy, Leaf area index (LAI), PBL, Canopy coverage, Wilting point, Field capacity, Surface energy budget, Surface moisture budget, Stand alone model, Soil texture, Soil moisture.

1. INTRODUCTION

It is well know that the growth of vegetation strongly depends upon temperature, radiation, and soil moisture. Soil moisture is controlled by precipitation, runoff, and the surface moisture flux, which includes evaporation from bare ground and vegetation.

On the other hand, vegetation and soil moisture also influence the surface heat and moisture fluxes as well as the local and regional climate and hydrology. Meanwhile, vegetation can prevent soil erosion and reduce air pollution, and the occurrence of drought and flood. Therefore, the interactions among the atmosphere, soil, and vegetation are crucial to agriculture, weather, climate, air pollution control, and water resources (Manabe 1969; Bhumralkar 1975; Dickinson 1984). Figure 1 (Dickinson *et al.,* 1993) is a schematic diagram of the atmosphere-land surface interaction. It requires scientists in many areas, such as soil science, atmospheric sciences, hydrology, agriculture, biosphere to work together to solve this important problems. Unfortunately, this area has been ignored in many countries, including Taiwan.

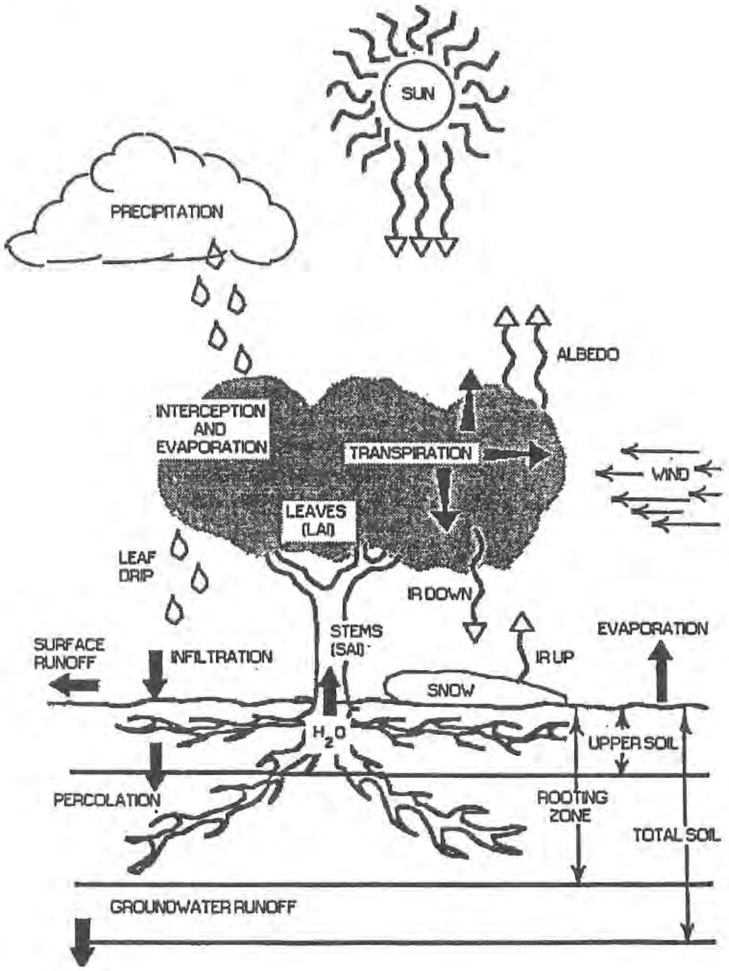


Fig. 1 (after Dickinson et *al.*, 1993)

The soil temperature, evaporation rate, humidity, the property and distribution of soil and vegetation are not included in the routine meteorological observations. They have been collected only by a few special field experiments around the world. But the surface moisture and heat fluxes are required in a numerical weather prediction model. Therefore, scientists (Philip, 1957; Deardorff, 1977, 1978; Clapp and Hornberger, 1978; Beljaars *et al.*, 1996; Wu and Sun, 1990a, b; Bosilovich and Sun, 1995; and others) have developed various mathematical models to study the physical mechanisms and predict the fluxes at surface based on the conservations of momentum, energy, and water substances. Hence, my students and I have been working on the land-surface package, as a component of the 3-dimensional Purdue Regional Model (PRM; Sun and Chern, 1993, 1994; Chern, 1994, Haines *et al.*, 1997, etc).

The basic equations and model set up will be discussed in the next section. The modeled results and observation, as well as sensitivity test of soil wetness and vegetation will be discussed in Section 3.

2. ONE-DIMENSIONAL BASIC EQUATIONS

The model includes equations of the motion in the atmosphere, the equations at the atmosphere-vegetation-soil interface, and the equation of heat and water substances inside the soil.

2a: Equations in the atmospheric boundary layer

The equations in the one-dimensional atmospheric model are

$$\frac{\partial U}{\partial t} = f(V - V_g) - \frac{\partial \overline{uw}}{\partial z} \tag{a. 1}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -f(U - U_g) - \frac{\partial \overline{vw}}{\partial z} \tag{a. 2}$$

$$\frac{\partial \Theta_e}{\partial t} = -\frac{\partial \overline{w\theta_e}}{\partial z} - W\frac{\partial \Theta_e}{\partial z} - \frac{1}{\rho c_p}\frac{\Theta}{T}\frac{\partial R_{net}}{\partial z} \tag{a-3}$$

$$\frac{\partial Q_w}{\partial t} = -\frac{\partial \overline{wq_w}}{\partial z} - W\frac{\partial Q_w}{\partial z} \qquad (a.4)$$

where (U, V, W) and (u, v, w) are mean and fluctuating velocity vectors in x(eastward), y(northward), z(vertical) directions. Θ_e and θ_e are the mean and fluctuating equivalent potential temperature ($\Theta_e = \Theta + \frac{L_v}{c_p}\frac{\Theta}{T}Q$). Q_w and q_w are the mean and fluctuating water substance, where $Q_w = Q + Q_c$ and Q is mixing ratio and Q_c is cloud water content. U_g and V_g are geostrophic wind along x and y components, respectively. R_{net} is the net radiative flux. In order to solve (1)-(4), Wu and Sun (1990a, b) and Sun (1993a, b) proposed to combine the turbulent kinetic energy (TKE) ($E = 0.5(u^2 + v^2 + w^2)$) equation and K-theory to calculate the turbulence fields:

$$\frac{\partial \overline{E}}{\partial t} = -2(\overline{uw}\frac{\partial U}{\partial z} + \overline{vw}\frac{\partial V}{\partial z}) - \frac{\partial}{\partial z}\left[\overline{w(E + p/\rho)}\right] + \frac{g}{\Theta_o}\overline{w\theta} - \varepsilon \qquad (a.5)$$

$$\overline{uw} = -\kappa_m(\frac{\partial U}{\partial z}) \qquad (a.6)$$

$$\overline{vw} = -\kappa_m(\frac{\partial V}{\partial z}) \qquad (a.7)$$

$$\overline{w\theta_e} = -\kappa_h(\frac{\partial \Theta_e}{\partial z} - r_c) \qquad (a.8)$$

$$\overline{wq_w} = -\kappa_h(\frac{\partial Q_w}{\partial z}) \qquad (a.9)$$

The eddy coefficients κ_m and κ_T ($m^2 s^{-1}$), transport term $[\overline{w(E + \frac{p}{\rho})}]$, and dissipation ε are parameterized according to Sun (1989, 1993a, b).

2b: Equations of Land-Surface

The one-dimensional conservation equations for temperature and soil moisture are

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{C_h}\frac{\partial Q_T}{\partial z} + \frac{S_T}{C_h} \qquad (b.1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{\partial Q_w}{\partial z} + S_w \text{(Richards' equation)} \qquad (b.2)$$

where T is soil temperature, C_h is volumetric soil heat capacity, w is volumetric soil water content, and S_T and S_w are sink terms. The vertical heat flux Q_T obeys

$$Q_T = -K_T \frac{\partial T}{\partial z} \qquad \text{(b. 3)}$$

where K_T is thermal conductivity. The vertical soil water flux Q_w obeys

$$Q_w = K\left(1 - \frac{\partial \psi_w}{\partial z}\right) \text{ (Darcy-Buckingham equation)} \qquad \text{(b. 4)}$$

In the absence of any pressure head, the effects of gravity on viscous vertical flow of water are represented by hydraulic conductivity K . The present of any pressure head, or suction, is presented by the moisture or matrix potential ψ_w , Basically, ψ_w equals the work required to extract water from the soil against capillary (surface tension) and absorption forces. When the soil is saturated ψ_w has a minimum value, but not all air space will be filled with water. (here z is positive above the surface, but z is positive beneath surface in hydrology. Hence; we obtain

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K\frac{\partial \Psi_W}{\partial z}\right) - \frac{\partial K}{\partial z} + S_W \qquad \text{(b. 5)}$$

Following Clapp-Hornberger (1978), soil hydraulic property functions can be defined

$$w = w_s\left(\frac{\psi_w}{\psi_s}\right)^{-\lambda}$$
$$\frac{K}{K_s} = \left(\frac{w}{w_s}\right)^{3+2/\lambda} \qquad \text{(b.6)}$$

The subscript s denotes the values at saturation, and λ is a constant, which depends on the texture of the soil. For many soils, w_s has the value of 0.4 m^3 m^{-3} (Garratt, 1992). The surface heat source/sink S_{T0} is

$$S_{T0} = R_n - H_{s0} - H_{L0} \qquad \text{(b. 7)}$$

where R_n is net radiation, H_{s0} is sensible heat flux and H_{L0} is latent heat. The surface water source/sink S_{w0} obeys

$$S_{w0} = P_r - H_{L0}/L = P_r - E_0 \qquad \text{(b. 8)}$$

where P_r is precipitation rate, E_0 is evaporation rate, L is latent heat of evaporation or sublimation.

The heat fluxes are given by

$$H_{s0} = (1-\sigma_f)H_g + \sigma_f H_f \qquad \text{(b. 9)}$$

$$E_{s0} = (1-\sigma_f)E_g + \sigma_f E_f$$

The subscript g denote over the bare ground and subscript f for foliage. σ_f is the percent of the area covered by plants. The components of sensible and latent heat fluxes can be expressed by

$$H_g = -\rho c_p u_* \theta_{g*} = \rho c_p C_h |V_a| (\Theta_g - \Theta_0) = \rho c_p (\Theta_g - \Theta_0)/r_b \qquad \text{(b. 10)}$$

$$H_f = -\rho c_p u_* \theta_{f*} = \rho c_p C_h |V_a| (\Theta_f - \Theta_0) = \rho c_p (\Theta_f - \Theta_0)/r_d \qquad \text{(b. 11)}$$

$$E_g = -\rho c_p u_* q_{g*} = \rho c_p C_h |V_a| (Q_g - Q_0) = \rho (Q_g - Q_0)/r_b \qquad \text{(b. 12)}$$

$$E_f = -\rho c_p u_* q_{f*} = \rho c_p C_h |V_a| (Q_f - Q_0) = \rho (Q_f - Q_0)/(r_b + r_s) \qquad \text{(b. 13)}$$

The drag coefficient C_h can be calculated by the similarity equation (Businger *et al.*, 1971) if Θ_g, Θ_f, and Θ_0 are given. r_b is the resistance between the ground and atmosphere, and r_d is between canopy and atmosphere, and r_s is the surface resistance due to the unsaturated ground. Θ_0 and Q_0 are the average potential temperature and mixing ratio of the values for air, ground, and vegetation, as shown in Fig. 2 (Garratt, 1992). The surface resistance is calculated by

$$r_s = r_{s,\min} F_1 F_2 F_3 F_4 \qquad \text{(b. 14)}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= \text{the effect of photosynthetically active radiation} \\ F_2 &= \text{the effect of soil moisture} \\ F_3 &= \text{the effect of vapor pressure deficit} \\ F_4 &= \text{the effect of air temperature} \end{aligned} \qquad \text{(b. 15)}$$

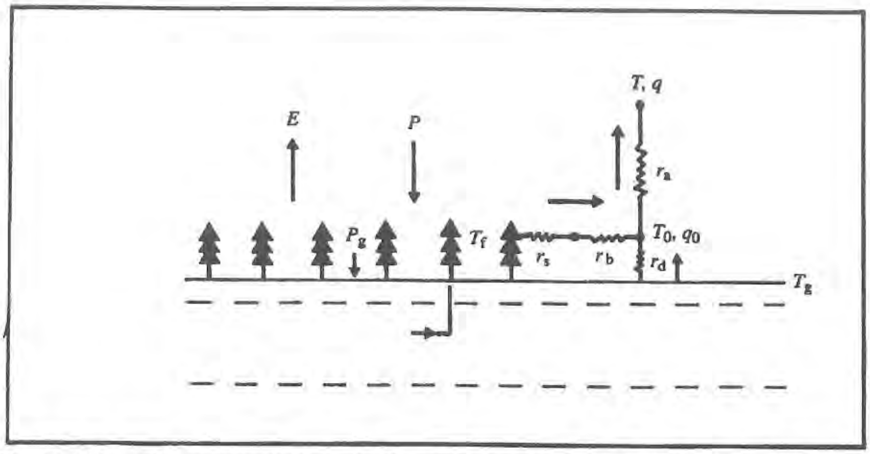


Fig. 8.9 Schematic representation of the main elements of a non-isothermal or two-component canopy model. Linked to the atmosphere (via resistances r_s, r_b and r_a), to the soil or undergrowth (via resistance r_d) and the deep soil (via evapotranspiration), the canopy and upper soil layer are at temperatures T_f and T_g. P_g is the precipitation reaching the soil surface.

In a numerical model, evaporation over the unsaturated bare ground is usually calculated by one the following three methods:

$$E_g = \rho\left(\alpha Q_s\left(T_g\right) - Q_a\right)/r_b \text{ (alpha method), or} \qquad \text{(b.16)}$$

$$E_g = \beta\left(Q_s\left(T_g\right) - Q_a\right)/r_b \text{ (beta method), or} \qquad \text{(b.17)}$$

$$E_g = \min\left(E_p, E_c\right) \textit{ threshold method (i.e., supply and demand mehtod)}$$
where
$$\textit{potential evaporation } E_p = \left(Q_s\left(T_g\right) - Q_a\right)/r_b, \textit{ and} \qquad \text{(b.18)}$$
Ec is the supply of the moisture flux trhough the layer benath.

where E_c is the supply of moisture from the layer beneath the surface, which can be calculated by (b.4)or following Eq. (33) of Dickinson et al. (1993)

The vegetation and ground temperature are expressed by

$$C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = R_{nf} - H_{s0f} - H_{L0f} \qquad \text{(b.19)}$$

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = -\frac{\partial Q_T}{\partial z} + R_{ng} - H_{s0g} - H_{L0g} \qquad \text{(b.20)}$$

More detailed descriptions can be found in Noilhan and Planton (1989), Garratt (1992) and LAPS model (Mihailovic *et al.*, 1992), Bosilovich and Sun (1995, 1998) and Shao *et al.* (1999).

In addition to heat and moisture fluxes in the vertical direction, a model should also consider the surface and underground runoffs, which can be very important especially over mountains.

3. RESULTS

Three different simulations will be discussed to show: (a) interaction between atmosphere and land surface, (b) the response of land surface to atmospheric forcing, and (c) sensitivity test of soil-vegetation property.

3a: Interaction between atmosphere and land surface

Figure 3 shows the time sequence of two-day vertical profiles (from surface up to 2 km) of observed and modeled virtual potential temperature (K), mixing ratio (g kg^{-1}), westerly wind U, and southerly wind V (m s^{-1}) at Wangara, Australia (Sun, 1993a, b). The Wangara Experiment (Clarke *et al.*, 1971) provided excellent two months observational data of the atmospheric planetary boundary layer (PBL) from surface up to 2 km and has been used to verify the model simulations (Deardorff, 1974; Sun and Ogura, 1980; and others). But it did not provide the property of vegetation and soil.

Figure 3a shows the vertical contributions of the TKE from buoyancy, transport, and dissipation according to (a.5). A well mixed layer with a uniformed potential temperature, mixing ratio, and wind field developed in the afternoon. But a strong temperature gradient (i.e., nocturnal inversion) and low-level jet developed at nighttime are well reproduced by the model. Figure 3b shows the contribution of surface energy (b.7). Figures 3c-d reveal observed and simulated potential temperatures and mixing ratios at and near the surface (z=0.01, 2.5, and 10 m). Overall over the model reproduces the observed features quite well.

3b: Response of soil and vegetation to atmospheric forcing

Bosilovich and Sun (1998) applied the one-dimensional Land-surface surface model to simulate the surface variables during the First ISLSCP Field Experiment (FIFE) (Sellers *et al.*, 1988; Strebel *et al.*, 1994) in 25 June-25 July 1987. The forcing from the atmosphere near the surface is shown in Fig. 5. The parameters and the set up of simulations are presented in Table 1.

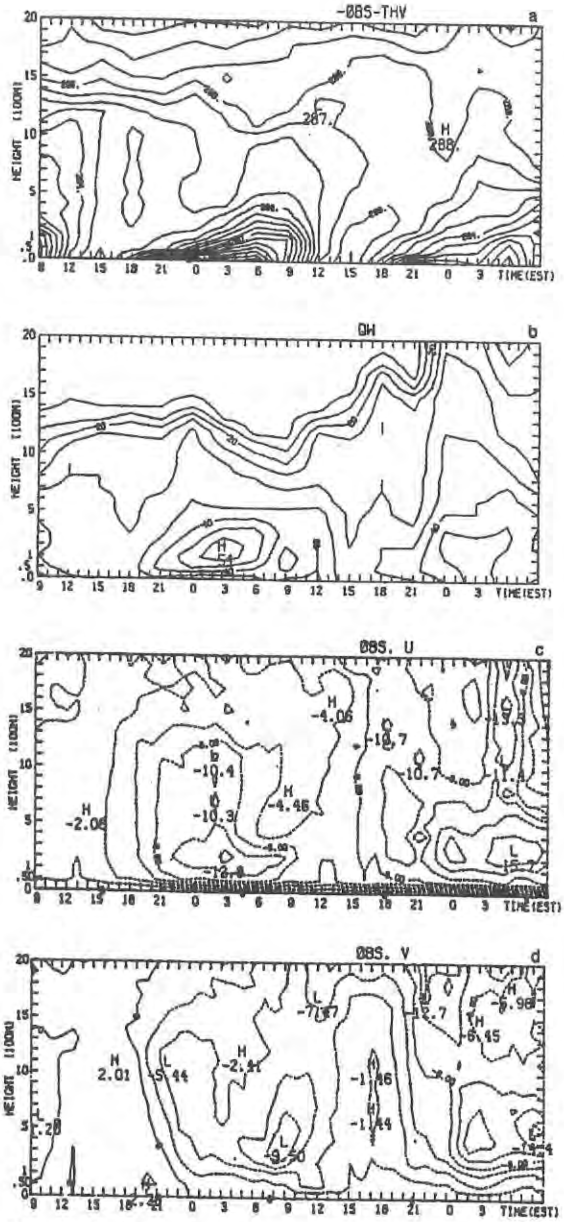


Figure 1 The time and spatial variation of measured variables from 0900 EST, Day 33 to 0900 EST: (a) Θ_v (K) (b) Q (labels scaled by 10000), (c) U (m s^{-1}), and (d) V (m s^{-1}).

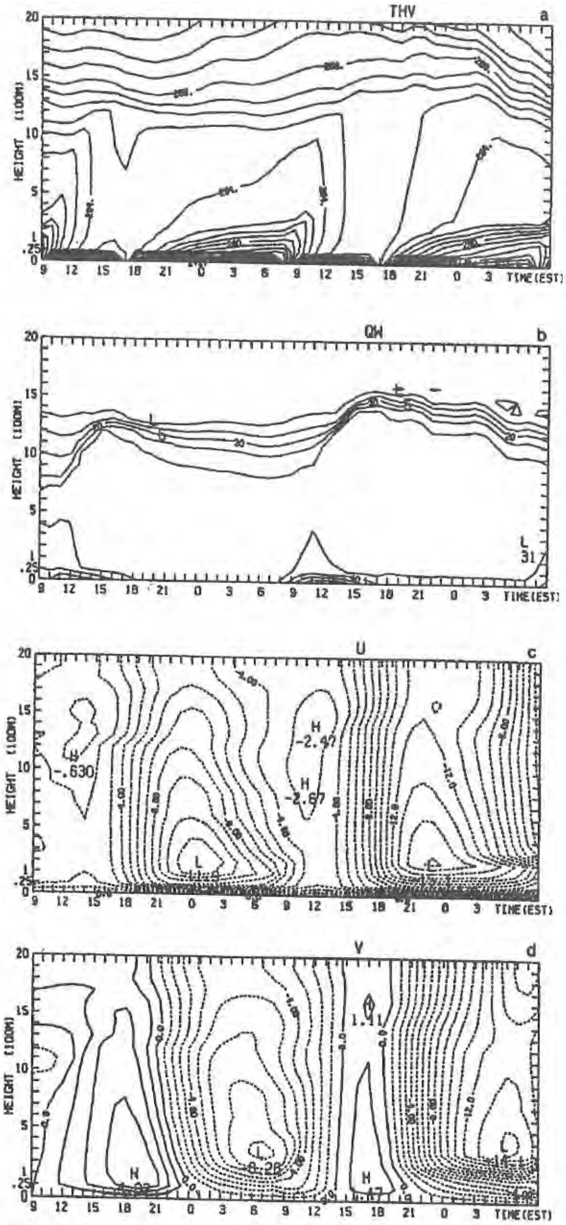


Figure 2 As Figure 1, except calculated values (a) Θ_v, (b) Q, (c) U, and (d) V.

Fig. 3. (after Sun, 1993a)

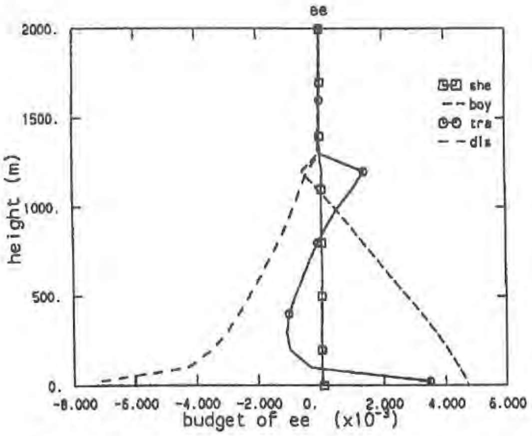


Figure 8 Contributions of the TKE budget at 1500 of Day 33 (unit: $m^2 s^{-3}$).

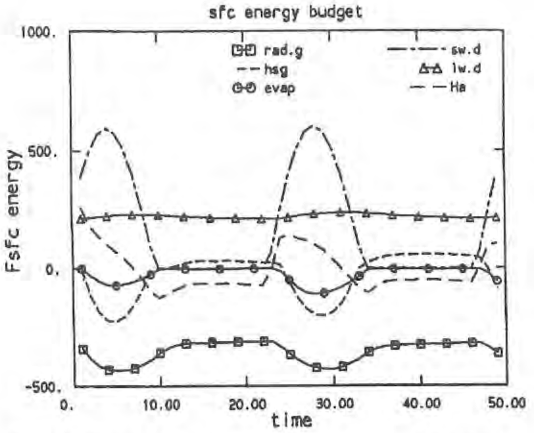


Figure 9 Contributions of surface energy budget of Eq. (2.21) (unit: $W m^{-2}$).

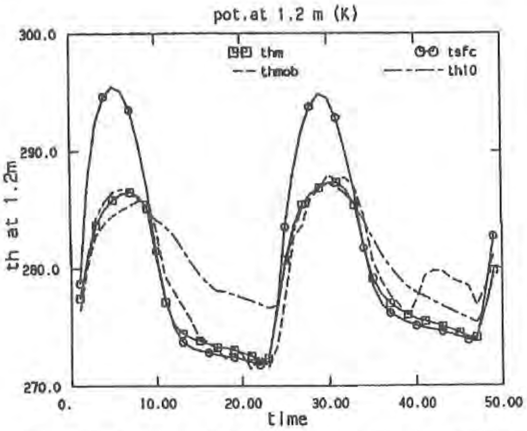


Figure 10 Θ_v measured at z = 1.2 m (thmob), and the values calculated at surface (tsfc), z = 1.2 m (thm), and z = 10 m.

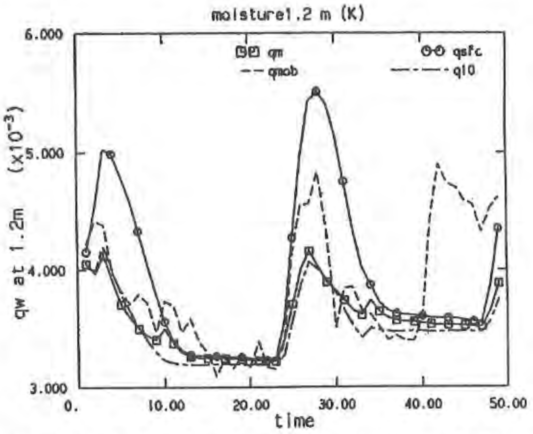


Figure 11 Q measured at z = 1.2 m (qmob), and the values calculated at surface (qsfc), z = 1.2 m (qm), and z = 10 m (q10).

Fig. 4. (after Sun, 1993a)

TABLE 1. Boundary conditions and model constants. The soil type is used to specify several constants related to the soil texture: z_{og} is the roughness length of bare soil, ϵ_g is the emissivity of the soil surface, σ_f is the fraction of vegetation cover, h_s is the canopy height, LAI is the leaf area index, R_{smin} is the minimum stomatal resistance of the canopy, and ϵ_f is the emissivity of the vegetation canopy.

Soil type	z_{og} (m)	ϵ_g	σ_f	h_s (m)	LAI ($m^2\ m^{-2}$)	R_{smin} ($s\ m^{-1}$)	ϵ_f
Silty clay loam	0.05	0.96	0.80	0.50	1.30	125.00	0.90

TABLE 2. Soil model structure and initialization for the Bosilovich and Sun (1995) model with eight and five layers and the FRM surface and bulk layers: Z is the midpoint depth of the layer, ΔZ is the thickness of the soil layer, w is the initial volumetric soil water content, T is the initial soil temperature, λ is the soil thermal conductivity, and c_m is the root fraction. Note that for the FRM Z and ΔZ are for the soil moisture prediction equation, the soil temperature equations use variable thicknesses.

Layer	Z (m)	ΔZ	w ($m^3 m^{-3}$)	T (K)	λ ($W\ m^{-1} K^{-1}$)	C_m
1	0.005	0.01	0.357	289.0	1.1	0.00
2	0.020	0.02	0.357	290.0	1.1	0.00
3	0.050	0.04	0.352	293.0	1.1	0.15
4	0.100	0.06	0.360	296.0	0.6	0.30
5	0.200	0.14	0.370	296.0	0.2	0.30
6	0.500	0.46	0.370	295.2	0.2	0.25
7	0.990	0.52	0.370	295.2	0.2	0.00
8	1.625	0.75	0.380	295.2	0.2	0.00
1	0.025	0.05	0.350	290.0	1.1	0.10
2	0.175	0.25	0.370	295.2	0.2	0.70
3	0.500	0.40	0.370	295.2	0.2	0.20
4	1.000	0.60	0.370	295.2	0.2	0.00
5	1.650	0.70	0.380	295.2	0.2	0.00
			FRM			
1	0.05	0.10	0.370	288	1.1	0.20
2	1.000	2.00	0.370	295.2	0.2	0.80

TABLE 3. Description and differences for each model simulation presented in this paper. All simulations use the vegetation model and beta method, unless noted otherwise.

Case	Description
1	Eight soil layers, Beta moisture availability
2	Five soil layers, Beta moisture availability
3	Eight soil layers, Alpha moisture availability
4a	Force–Restore Method, Deardorff (1978) C_g and C_2
4b	Force–Restore Method, Braud et al. (1993) C_g and C_2
5a	Eight soil layers, no vegetation model
5b	FRM Deardorff (1978), no vegetation model
5c	FRM Braud et al. (1993), no vegetation model

TABLE 4. Rms error and bias (in parentheses) of model surface and 50-cm soil temperature. Note that observed surface temperature is measured by a radiometer and 50-cm soil temperature is a point observation. Units are kelvin.

Case	T surface	T at 50 cm
1	0.94 (0.83)	0.20 (0.03)
2	0.79 (0.52)	0.33 (−0.16)
3	1.14 (1.02)	0.23 (0.19)
4a	1.04 (0.93)	0.94 (0.78)
4b	0.90 (0.63)	0.61 (0.51)
5a	1.14 (0.73)	0.37 (0.35)
5b	1.84 (1.54)	1.72 (1.70)
5c	1.12 (0.02)	0.92 (0.89)

Table 1. (after Bosilovich and Sun, 1998)

The observed and simulated surface and 50-cm soil temperature are shown in Figs. 6 and 7. We can see that the observed temperature and moisture at surface and inside the soil are well reproduced; we can also see that the magnitude of E_f is comparable to E_g in Fig. 7. It is also noted that there is larger soil water content and less evaporation for the alpha method (b.16) compared to the beta method (b.17) when the soil moisture is less than field capacity, which will be discussed later. The results shown here are calculated based on beta method with eight soil layers. More detailed discussion is referred to Bosilovich and Sun (1998).

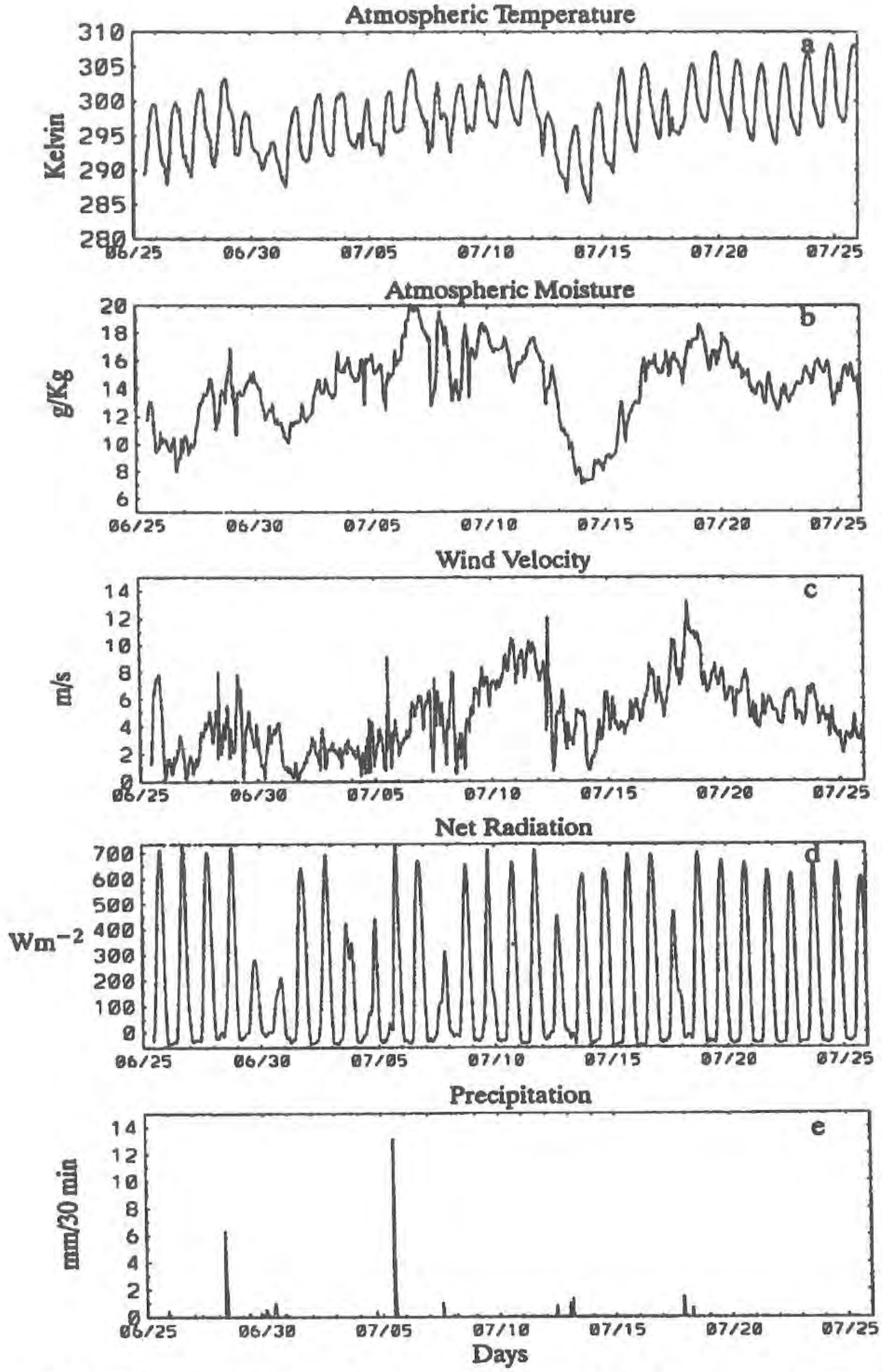


FIG. 1. FIFE site average data used as input to the model: (a) 2.0-m atmospheric temperature, (b) 2.0-m atmospheric specific humidity, (c) 5.4-m wind speed, (d) surface net radiation (computed from component radiative fluxes), and (e) precipitation rate.

Fig. 5. (after Bosilovich and Sun, 1998)

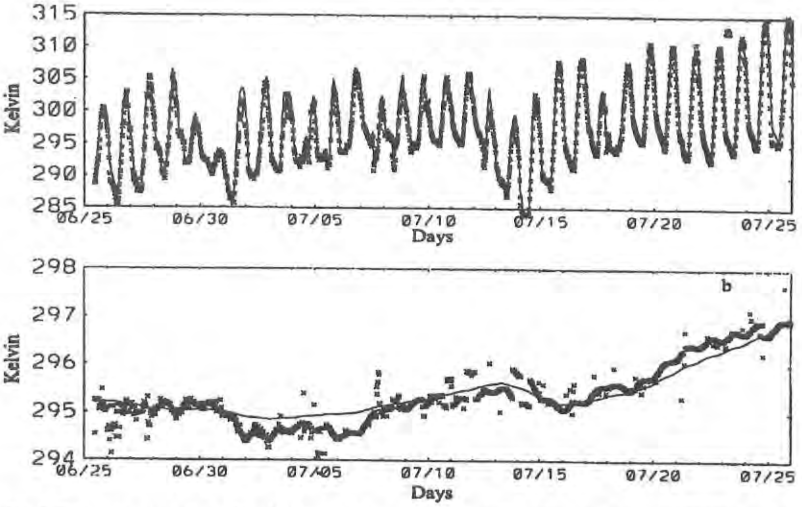


FIG. 2. Time series comparison of model-simulated (case 1) (a) surface temperature and (b) 50-cm soil temperature (solid line represents model data and crosses are observations).

Fig. 6. (after Bosilovich and Sun, 1998)

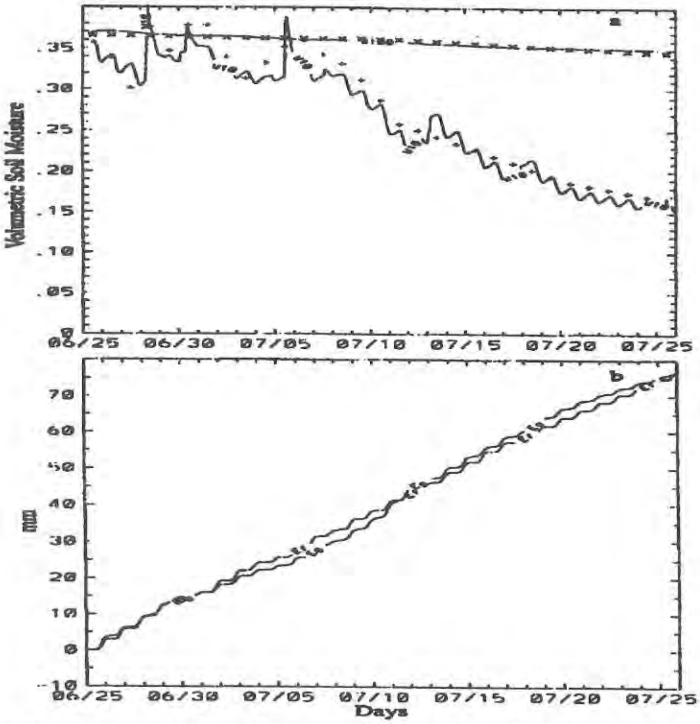


FIG. 3. Case 1 (a) comparison of model and observed soil moisture, and (b) model-simulated cumulative evaporation for the ground surface (E_g) and vegetation surface (E_f): (+) indicates observed gravimetric soil moisture for the layer 0–10 cm, and (×) indicates the neutron probe soil moisture observations at 1 m. The line marked W10 is the model 0–10-cm soil water content, and W100 is the soil water content of the layer centered at 1 m.

Fig. 7. (after Bosilovich and Sun, 1998)

3c: Sensitivity test of soil-vegetation property

Sun and Bosilovich (1996) applied the one-dimensional atmospheric model (Sun, 1993a, b) and land-surface package to study the response of turbulence fluxes and atmospheric profiles to the variation of vegetation cover, minimum stomatal resistance, canopy height, initial soil moisture, and soil type. The model set up and parameters are shown in Tables 2. The leave area index (LAI)=5.5 and simulation is from 00Z to 12Z). We will present the results due to the variation of soil moisture, minimum stomatal resistance and vegetation coverage, and soil type.

Table I

Soil model initial conditions and grid spacing. Δz is the thickness of the soil layer. The initial soil temperature for layers 2–5 was derived for the observational data set. Soil moisture was initialized from a 'stand alone' simulation (Bosilovich and Sun, 1995). The root distribution is used to compute root zone soil moisture, and determines the percentage of transpiration that is removed from a layer

Layer	Δz (cm)	T (K)	W ($m^3\ m^{-3}$)	Root Dist. (%)
1	1	291.00	0.195	5
2	2	291.00	0.195	10
3	10	292.75	0.210	30
4	14	293.25	0.215	30
5	26	294.00	0.225	25
6	47	294.00	0.235	0

Table II

Table of variables used in the sensitivity study. Boldface indicates the sensitivity variable and its range in the simulations. σ'_f is the percentage of leaf area to ground area, 100% implies complete coverage of the ground. r_{smin} is the minimum stomatal resistance. h_{can} is the height of the canopy. W_U and W_L are the initial soil moistures of the upper three and lower three soil layers respectively, in units of volumetric soil water

Experiment	σ'_f (%)	r_{smin} (sm^{-1})	h_{can} (m)	W_U, W_L	Soil type
1a	**0–100**	50	0.50	0.13, 0.19	Loam
1b*	**0–100**	50	0.50	0.13, 0.19	Loam
2a	70	**25–525**	0.50	0.13, 0.19	Loam
2b	**0–100**	500	0.50	0.13, 0.19	Loam
3	75	50	**0.01–2.0****	0.13, 0.19	Loam
4a	0	–	0.50	**0.04–0.24**†	Loam
4b	75	50	0.50	**0.04–0.24**†	Loam
5a	0	–	0.50	0.18, 0.22	**Sand–Clay**
5b	75	50	0.50	0.18, 0.22	**Sand–Clay**
5c	0	–	0.50	‡	**Sand–Clay**
5d	75	50	0.50	‡	**Sand–Clay**

*Experiment 1b is identical to 1a, except that the Force Restore Method is used.
** The canopy height is varied logarithmically.
† The range of upper soil layers is provided, the lower soil layers range is 0.09–0.29.
‡ Soil moisture also varies for this experiment (see text).

Table 2. (after Sun and Bosilovich, 1996)

Experiment of vegetation

Evapotranspiration is strongly affected by the stomatal resistance, according to (b.13)-(b.15). The stomata are pores which, when open, are the main conduits for transpired water. Hence, the net resistance r_s to water passing from the inside to the outside of the leaf depends largely on the size, distribution, and degree of opening of those stomata. The value of minimum stomatal resistance is from 30-40 s m^{-1} (crops and grassland) to 200-300 s m^{-1} for citrus according to Garratt (1992; Table 5-1); the values are from 25 to 300 s m^{-1} for crops and grasses and 500-2000 s m^{-1} for trees according to Monteith (1976); the range is 120-200 s m^{-1} according to Dickinson *et al.*(1993, Table 2). Hence, the values are uncertain.

The vertical profiles of virtual potential temperature, mixing ratio, and TKE as function of minimum stomatal resistance are shown in Fig. 8 (Experiment 2a). The higher (lower) the resistance, the less (more) water substance is permitted to the leave the plant. Hence, the depth of the PBL is higher and PBL is drier for a smaller value of resistance. However, when the minimum resistance is very high (here is 500), Figure 9 shows the vegetation under a stressed condition can become an effective barrier for surface moisture flux. (Experiment 2b).

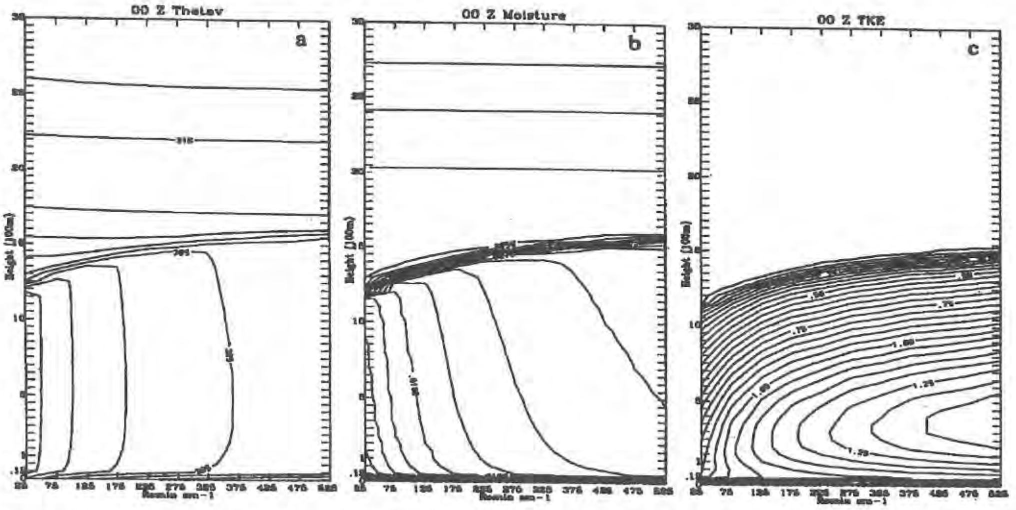


Figure 6. **Sensitivity Experiment 2a. 0000 Z vertical profiles of (a) virtual potential temperature (1 K interval), (b) specific humidity (0.5 × 10^{-3} Kg/Kg interval), and (c) TKE (0.05 m^2 s^{-2} interval). Minimum stomatal resistance is the sensitivity variable.**

Fig. 8 (after Sun and Bosilovich, 1996)

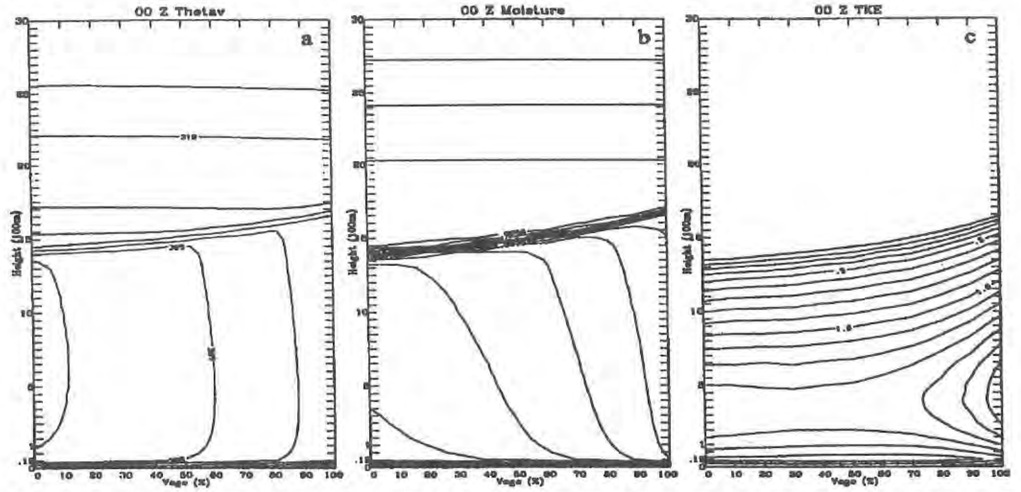


Figure 7. **As in Figure 6, except for Sensitivity Experiment 2b, where the sensitivity variable is the vegetation cover. The contour intervals are identical to Figure 6.**

Fig. 9. (after Sun and Bosilovich 1996)

Experiment of initial soil moisture

The important factors to determine evaporation rate from bare soil are field capacity and wilting point, they are dependent on soil texture, as shown in Fig. 12.

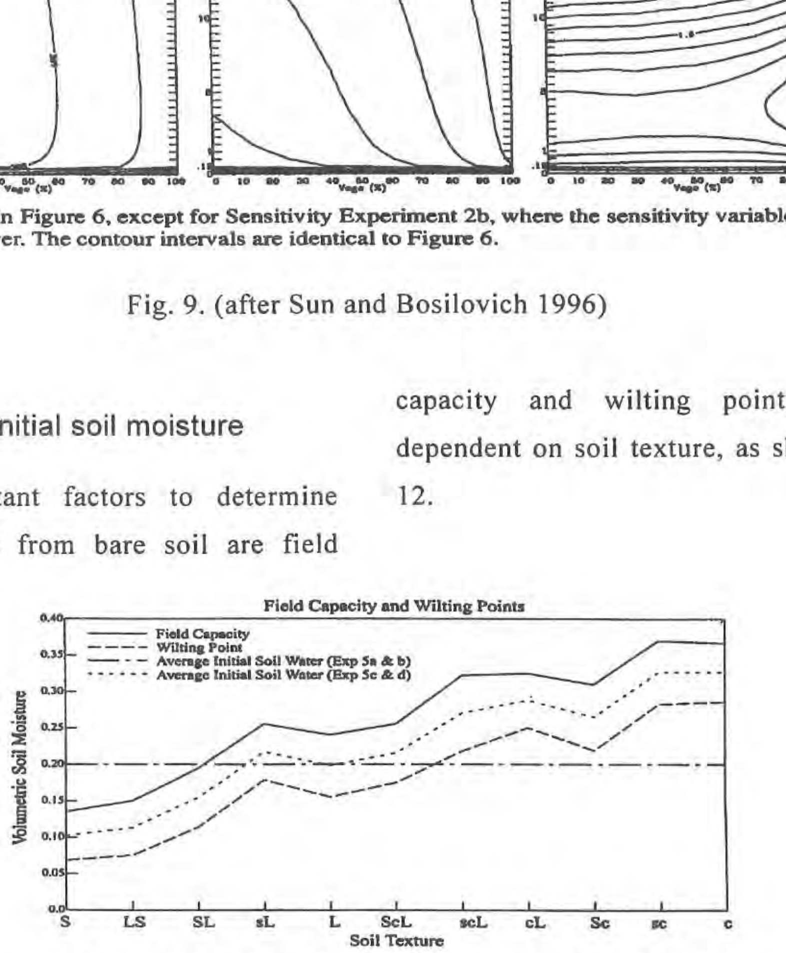


Figure 13. **Comparison of the wilting points and field capacities for given soil textures to the initial soil water content used in Experiment 5. Soil textures are abbreviated by the following: S = sand(y), s = silt(y), L = Loam(y), and c = clay. Example: ScL = Sandy clay loam.**

Fig. 10. (after Sun and Bosilovich, 1996)

The evaporation occurs at potential rate (moisture availability is 100%) when soil moisture is greater than the field capacity, but evaporation shots down when soil moisture is less than wilting point.

Figures 11a-b show the surface sensible and latent heat fluxes as function of initial upper soil moisture and time.

Figures 11c-e show the vertical profiles of potential temperature, mixing ratio, and TKE as function of upper layer soil moisture without vegetation. Over a wet soil, the PBL is cooler and more moist, and the depth of PBL is lower depth compared with that developed over a dry land.

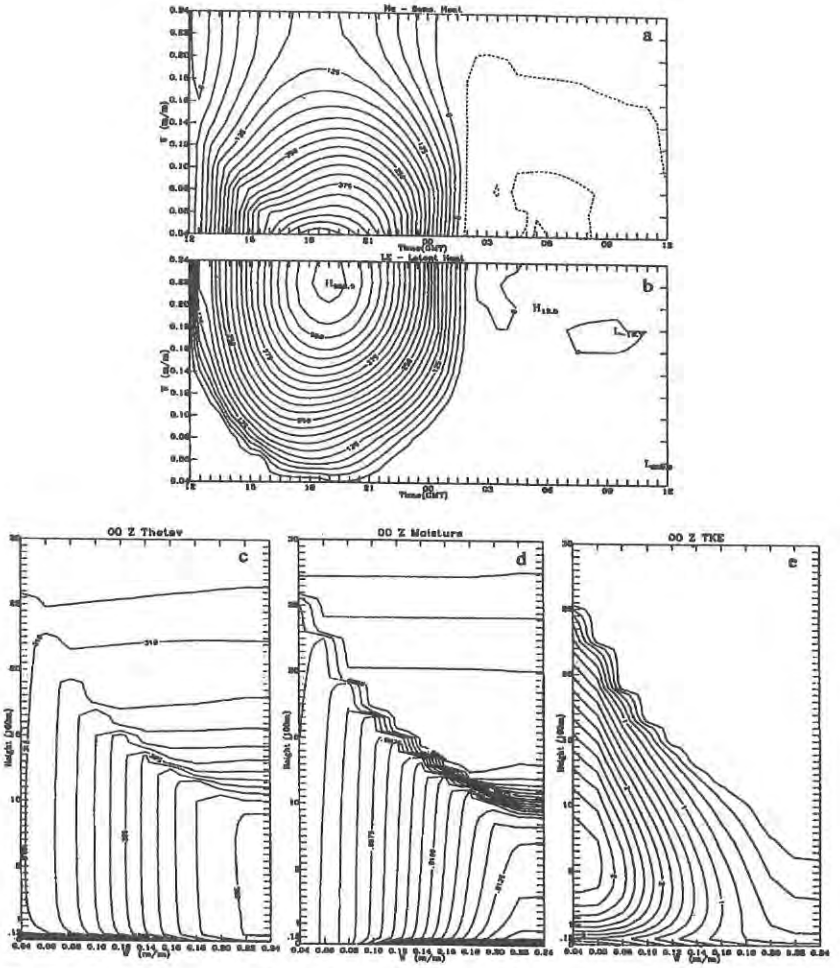


Figure 10. As in Figure 4, except for Sensitivity Experiment 4a, where the initial soil water content is the sensitivity variable. The contour intervals are identical to Figure 4 for all, except TKE ($0.25\ m^2\ s^{-2}$).

Fig. 11. For bare ground (after Sun and Bosilovich, 1996)

Figures 12a-b show ground surface temperature and vegetation temperature for Experiment 4b. The vertical profiles of potential temperature, mixing ratio, and TKE as function of upper layer soil moisture are shown in Fig. 12c-e (with 75% vegetation cover and $r_s = 50\ s\ m^{-1}$). The variation for small value of soil moisture is quite large, but variation becomes small for soil moisture > 0.14, when it is greater than

field capacity. The moisture can free be transported through the atmosphere by both bare ground and vegetation. It is also noted that vegetation with small resistance can effectively transfer the soil moisture from root zone into the atmosphere under normal condition.

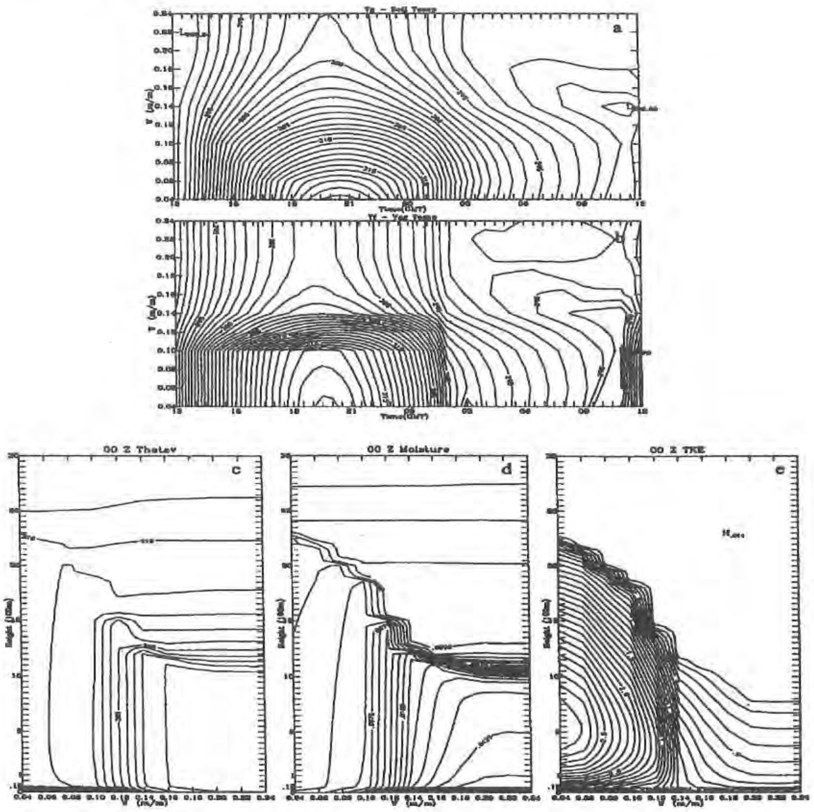


Figure 11. Sensitivity Experiment 4b, same as Experiment 4a except vegetation is included. (a) Ground surface temperature and (b) vegetation surface temperature, both at a contour interval of 1 K. Comparison of 0000 Z vertical profiles of (c) virtual potential temperature (1 K interval), (d) specific humidity (0.5×10^{-3} Kg/Kg interval), and (e) turbulent kinetic energy ($0.10\ m^2\ s^{-2}$ interval). Initial soil water content is the sensitivity variable.

Fig. 12. With 75% vegetation coverage(after Sun and Bosilovich, 1996)

4. Summary

The equations and numerical results of atmosphere-vegetation-soil interaction are briefly presented here. Observational data are very limited, numerical model becomes the major tool in this area. The models presented here seem be able to reproduce many major features of observations. The models also provide plausible explanation of mechanisms involved. However, more observations are required to verify both equations and the parameters involved. It also requires scientists in different disciplines to work together to study the complex processes at and near the ground

surface, where the human beings depend on. After we have a better understanding of those processes, we may be able to develop a better planning of the land usage as well as to predict the change of regional climate, water resources, and ecological system.

5.REFERENCES

Beljaars, A. C. M., P. Viterbo, M. J. Miller and A. K. Betts. 1996. The anomalous rainfall over the United States during July 1993: Sensitivity to land surface parameterizations and soil moisture anomalies. *Mon. Wea. Rev.* 124: 362–383.

Betts, A. K. and J. H. Ball. 1998. FIFE surface climate and site-averaged data set: 1987–1989. *J. Atmos. Sci.* 55: 1091–1108.

Betts, A. K. and A. C. M. Beljaars. 1993. Comparison between the land surface response of the ECMWF model and the FIFE 1987 data. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 119: 975–1001.

Bhumralkar, C. M. 1975. Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in an atmospheric general circulation model. *J. Appl. Meteor.* 14: 1246–1258.

Bosilovich, M. G. and W.-Y. Sun. 1995. Formulation and verification of a land surface parameterization for atmospheric models. *Bound.-Layer Meteor.* 73: 321–341.

Bosilovich, M. B. and W. Y. Sun. 1998: Simulation of soil moisture and temperature. *J. Atmos. Sci. 55*: 1170-1183.

Bosilovich, M. G. and W.-Y. Sun. 1999. Numerical simulation of the 1993 Midwestern Flood: Local and remote sources of water. *J. Geophys. Res. 104*: D16, 19: 415-19,423.

Bosilovich, M. G. and W.-Y. Sun. 1999. Numerical simulation of the 1993 Midwestern flood: Land-Atmosphere Interactions. *J. Climate 12*: 1490-1505.

Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi and E. F. Bradley. 1971. Flux profile relationships in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.* 28: 181–189.

Clapp, R. B. and G. M. Hornberger. 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.* 14: 601–604.

Deardorff, J. W. 1977. A parameterization of the ground surface moisture content for use in atmospheric prediction models. *J. Appl. Meteor.* 16: 1182–1185.

Deardorff, J. W. 1978. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation. *J. Geophys. Res.* 83: 1889–1903.

Dickinson, R. E. 1984. Modeling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. *Climate Processes and Climate*

Sensitivity, Geophys. Monogr. 29: 58–72.

Dickinson, R. E. 1988. The force restore model for surface temperatures and its generalizations. *J. Climate* 1: 1086–1097.

Dickinson, R. E. A. Henderson-Sellers and P. J. Kennedy. 1993. Biosphere-Atmsophere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to NCAR Community Climate Model, NCAR Technical Note, NCAR/TN-387+STR, 72 pp.

Garratt, J. R. 1992. The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press. 316pp.

Manabe, S. 1969. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon. Wea. Rev.* 97: 739–774.

Mihailovic, D., H. A. R. de Bruin, M. Jeftic and A. van Dijken. 1992. A study of the sensitivity of land surface parameterizations to the inclusion of different fractional covers and soil textures. *J. Appl. Meteor.* 31: 1477–1487.

Noilhan, J. and S. Planton. 1989. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.* 117: 536–549.

Philip, J. R. 1957. Evaporation, and moisture and heat fields in the soil. *J. Meteor.* 14: 354–366.

Sellers, P. J, F. G. Hall, G. Asrar, D. E. Strebel and R. E. Murphy. 1988. The First ISLSCP Field Experiment (FIFE). *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 69: 22–27.

Shao, Y., R. D. Anne, A. Henderson- Sellers, P. Irannejad, P. Thornton, X. Liang, T. H. Chen, C. Ciret, C. Desborough, O. Balachova, A. Haxeltine and A. ducharne. 1999. Soil moisture simulation- A report of the RICE and PILPS Workshop. http:/cic.mq.edu.au/pilps-rice/publication/soilm/WkSp-Rep3.htlm

Strebel, D. E., D. R. Landis, K. F. Huemmrich and B. W. Meeson. 1994. *Collected Data of the First ISLSCP Field Experiment. Vol. 1, Surface Observations and Non Image Data Sets.* NASA, CD-ROM.

Sun, W.-Y. and J.-D. Chern. 1993. Diurnal variation of lee vortices in Taiwan and surrounding area. *J. Atmos. Sci.* 50: 3404–3430.

Sun, W.-Y. and M. G. Bosilovich. 1996. Planetary boundary and surface layer sensitivity to land surface parameters. *Bound.-Layer Meteor.* 77: 353–378.

Sun, W. Y., M. G. Bosilovich and J. D. Chern. 1997. CCM1 regional response to anomalous surface properties. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences 8:* 271-288.

Sun, W. Y. and J. D. Chern. 1994: Numerical experiments of vortices in the wake of idealized large mountains. *J. Atmos. Sci. 51*: 191-209.

Sun, W. Y. 1993a. Numerical simulation of a planetary boundary layer: Part I. Cloud-free case. *Beitrage zur Physik der*

Atmosphare 66: 3-16.

Sun, W. Y. 1993b. Numerical simulation of a planetary boundary layer: Part II. Cloudy case. *Beitrage zur Physik der Atmosphare 66:* 17-30.

Sun, W. Y. 1988. Air pollution in a convective atmosphere. Library of Environmental Control Technology (ed. Cheremisinoff. Gulf Publishing). p.515-546.

Sun, W. Y. and Y. Ogura. 1980. Modeling the evolution of the convective planetary boundary layer. *J. Atmos. Sci. 37:* 1558-1572.

Wu, C.-C. and W. Y. Sun. 1990. Diurnal oscillation of convective boundary layer. Part I: Cloud-free Atmosphere. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences 1:* 23-43.

Wu, C.-C. and W. Y. Sun. 1990. Diurnal oscillation of convective boundary layer. Part II: Cloudy Atmosphere. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences 2:* 157-174.

第六章　空氣、土壤及植物之交互作用

商文義

美國普度大學地球及大氣科學系

摘　要

從空氣、土壤及植物之基本流力方程式，我們在普度大學發展一套「空氣、土壤及植物交互作用」的數學模式。這個模式能夠模擬地面及地表附近所觀測的一些重要現象，同時幫助我們瞭解其中的物理現象。然而，很明顯地，我們仍需要收集更多的觀測資料，並鼓勵更多不同領域的科學家共同來探討這些物理機制，才可能發展一套完整的數值模式來預測爲來氣候、水資源及生態的變化。

關鍵詞：基本公式、潛在溫度、混合率、Richards' equation、Darcy-buckingham equation、物質潛勢、水分傳導係數、阻力、最低氣孔阻力、植冠高度、葉面積指數、PBL、植冠覆蓋、凋萎點、田間容水量、表面能量預算、表面水分預算、Stand alone model、土壤結構、土壤水分。

Chapter 7 Weather-driven Crop Models for Integrated Pest Management

Shu Geng[1], Jack Ming-Sen Lin[2], Chih-Shiang Liao[2], Tsung-Su Ding[1], and Yu-Fang Chang[2]

[1] Department of Agronomy and Range Science, University of California, Davis, CA 95616, U.S.A.

[2] Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, Republic of China

ABSTRACT ---------- 94

1. INTODUCTION ---------- 95

2. PHENOLOGY MODELS ---------- 96

3. EVAPOTRANSPIRATION MODEL AND PHENOLOGY MODEL ------ 97

4. APPLICATIONS OF PHENOLOGICAL MODELS ---------- 100

5. CONCLUSION ---------- 103

6. REFERENCES ---------- 103

摘 要 ---------- 105

Chapter 7 Weather-Driven Crop Models for Integrated Pest Management

Shu Geng[1], Jack Ming-Sen Lin[2], Chih-Shiang Liao[2], Tsung-Su Ding[1], and Yu-Fang Chang[2]

[1] Department of Agronomy and Range Science, University of California, Davis, CA 95616, U.S.A.

[2] Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, Republic of China

ABSTRACT

Despite the tremendous technological advancements that have been made in recent decades, the agricultural productivity and the world food supply have been stagnated worldwide. This is partly because of the increasingly unstable weather conditions. The damages that the floods and hurricanes caused in China, Honduras and Nicaragua in1998, are unmatched for the last century and exemplifies the problem. Though natural disasters are not be avoidable, the resulting damages can be minimized if effective weather forecasting and reporting systems are developed and utilized. A case in point is the preventive measures that were taken such as adjusting the planting dates by American farmers in anticipation of a strong El Niño in early 1998, had effectively reduced the possible damages that might otherwise occur. Taiwan's agriculture is very productive and vitally important for social and political securities. It is important that weather resources and information are fully utilized to maximize the agricultural productivity and minimize the possible damages due to adverse weather conditions. This paper illustrates that phenological models, or weather driven plant and animal models, can be applied to predict crop developmental stages and the likelihood of disease breakouts. These models are powerful tools, which when effectively applied could increase the robustness and the sustainability of the agricultural production systems in Taiwan.

Key words:Weather-driven crop models, Integrated pest management.

1. INTODUCTION

Human's civilization begins with the emergence and advancement of agriculture. Agriculture evolves from the recognition of the influences of temperature and rainfall on plant growth by humans. The understanding of the impact of weather changes and patterns on the lives of plants and animals provides the basis for the development of cultivation strategies of when and where to plant what kinds of plants, which defines the adaptability and improves the productivity of agriculture. Today, climatic and live systems are still too complex to comprehend, there however does exist sufficient knowledge and technology, which if properly and timely utilized, could allow farmers to manage productive agricultural systems in most places in the world and in most times. A few well-known meteorological information systems that are designed to enhance the agricultural productivity are described below.

Application of Meteorological Information for Crop Production

The Joint Agricultural Weather Facility (JAWF) which is jointly operated by the World Agricultural Outlook Board of the U.S. Department of Agriculture (USDA) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of the U.S. Department of Commerce (http://www.usda.gov/oce/waob/jawf/) porvides: (a) world crop calendar summary in maps; (b) publish the Weekly Weather and Crop Bulletin. The bulletin is published weekly on Tuesday. Includes weekly National weather and crop summaries; (c) Moisture index and drought index maps are shown for the the US daily. USDA - National Agricultural Statistics Service – also publish Crop and Weather reports on the internet. These reports include: (a) a weekly weather and crop bulletin, which contains weekly national agricultural weather summaries and the weather's effect on crops for 44 states and New England area; (b) crop developmental progress timetables, crop by crop; (c) growing and planting conditions such as top and sub-soil moisture, days suitable for fieldwork, general crop conditions, crop percents planted and harvested.

Application of Meteorological Information for Pest Management System

University of California Integrated Pest Management System (UC-IPM, http://www.ipm.ucdavis.edu) hosts one of the most comprehensive Web site of weather database and programs for agricultural pest management applications. The Web site contains information about the phenologies of more than 100 plants and pests mostly focusing on those that are important in California. Phenological models of plants

and pests that are available in the literature are generally included in the database and shown on the Web site. Each model contains the degree-day accumulations required for specific developmental stages of an organism. Most of these models have been validated in California.

Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model

PRISM is an expert system that uses point data and a digital elevation model (DEM) to generate estimates of climate parameters (Daly *et al.*, 1994). Unlike other statistical weather models, PRISM includes considerations of topographical impacts on weather. PRISM is particularly suited for data interpolations at mountainous regions, because the effects of terrain on climate play a central role in the model. It is considered an expert system, because it attempts to mimic the process an expert would use to map climate parameters. The user interacts with the process through a graphical interface. PRISM has since been used to map temperature, snowfall, weather generator statistics, and others. This model can be advantages when applied to Taiwan's mountainous areas, where a lot of fruit are produced.

2. PHENOLOGY MODELS

Temperature affects living organism through its influence on the rate of metabolism. Plants and invertebrates, including insects and nematodes, require a certain amount of heat to develop from one stage of their life cycle to another. However, many organisms such as plants and pests cannot internally regulate their own temperature. These living creatures totally depend on environmental temperature for physiological developments. Because of weather variations between years, calendar dates can't be used reliably to determine the growth stages of these organisms. A good predictor for developmental stages and making management decisions is the amount of heat the organism received over time. Phenology models are models based on accumulative heat to predict time of events in an organism's development.

Two parameters are commonly used when referring to the effect of temperature on growth and development: the lower and upper threshold. The lower threshold for a species is the temperature below which development stop. The upper threshold is less well defined, but is often taken as the temperature at which the rate of growth or development begins to slow down. For many organisms the upper thresholds are not used in the model because data are lacking to obtain such estimates. Both lower and upper thresholds need to be determined through carefully controlled experiment and are unique for a specific

organism.

The amount of heat needed by an organism to develop is known as physiological time. The amount of heat required to complete a given organism's development is usually constant -- the combination of temperature (between thresholds) and time will approximately be the same. Physiological time is often expressed in units called degree-days (DD). For instance: if a species has a lower developmental threshold of 60° F, and the temperature remains at 61°F for 24 hours, one degree-day is accumulated.

Each stage of an organism's development has its own heat requirement. Development can be estimated by accumulating degree-days between temperature thresholds throughout the growing season. The accumulation of degree-days from a starting point can help predict when a developmental stage will be reached. DD monitoring does not indicate whether pest control action is warranted, but rather when a pest will reach certain susceptible life stage. Phenological models based on the cumulative DD would help to determine the risk of whether pests would be abundant.

3. EVAPOTRANSPIRATION MODEL AND PHENOLOGY MODEL

Evapotranspiration (ET) refers to the rate and amount at which water is lost from the soil and plant to the air and is an important variable to consider in estimating plant growth and making decisions about water management (Penman, 1948; Monteith, 1964; Loomis And Connor, 1992.). The water loss can occur directly from the soil, as evaporation, or via a living plant, transpiration. Transpiration is necessary since a transpiring plant is a photosynthesizing plant. Any shortage of water will decrease stomatal conductance of water, inhibit photosynthesis and thus reduce ET. By estimating the ET over the length of the growing season, the productivity of the crop and the amount of water required to produce a crop can be calculated.

ET for a crop can be measured directly, but is expensive. Instead a reference ET can be calculated based on weather variables (Allen *et al.*, 1989; Allen and Pruitt, 1991). This ET can be viewed as a potential with the actual being calculated by multiplying by a coefficient, which is specific for each crop. We have developed a program, SIMETO (Geng *at el.*, 1988, 1995), which is a weather data generator. Though the required inputs are monthly averages, SIMETO is capable of producing daily values of weather variables and reference ET values (Liang *et al.*, 1997; Snyder and Pruitt, 1994). Nine commonly

used ET estimation methods are included in SIMETO. Some of the methods are described below.

The Penman-Monteith equation (Monteith, 1964) is based on estimated net radiation (R_n) and soil heat flux (G) in MJ m^{-2}, the saturation vapor pressures at air (e_a) and dew point temperatures (e_d) in kPa, temperature (T) in °C, and wind speed (u) in m s^{-1}.

$$ET_o=[0.408\Delta(R_n-G)+\gamma(900/T+273)\,u\,(e_a-e_d)]/[\Delta+\gamma^*]$$

In the above equation, Δ is a function of T and barometric pressure, γ is the psychrometric constant, and γ^* is a modified psychrometric constant that accounts for canopy and aerodynamic resistances.

If weather variables are limited or only temperature and solar radiation data are available then an approximation method of Hargreaves (1994) can be used. That is,

$$ET_o=0.0023\,R_a\,TD^{1/2}\,(T_m+17.8)$$

In this equation, R_a is the extraterrestrial radiation, which is determined from the latitude, TD is the daily temperature range ($T_x - T_n$), T_m is the mean daily temperature ($T_m = (T_x + T_n)/2$), and T_x and T_n are the monthly averages of the daily maximum and minimum temperature.

Sometimes, pan evapotranspiration data (E_p) are available, in combination with other climate data, they can be converted to reference evapotranspiration by the following equation

$$ET_o=E_p[0.152062-0.000321u+0.002889(RH_m)+0.031886\ln(F)-0.000107(RH_m)\ln(F)]$$

where u is the wind speed in m s^{-1}, RH_m is the daily mean relative humidity in %, and F is the fetch or distance of grass around the pan in meters. This formula applies well in California conditions. Similar equations can be developed for other locations by modifying the equation coefficients.

Since both degree-day and ET models depend on temperature data, it is expected to find that there is a strong linear relationship between these model values for a given environment. Figure 1. shows the relationship between the long-term monthly temperature and Pan ET means for Taipei (1.a) and Tainan (1.b). The R^2 values are greater than 0.88 for both cases. Thus cumulative ET can be used to approximate cumulative DD in predicting plant developmental stages.

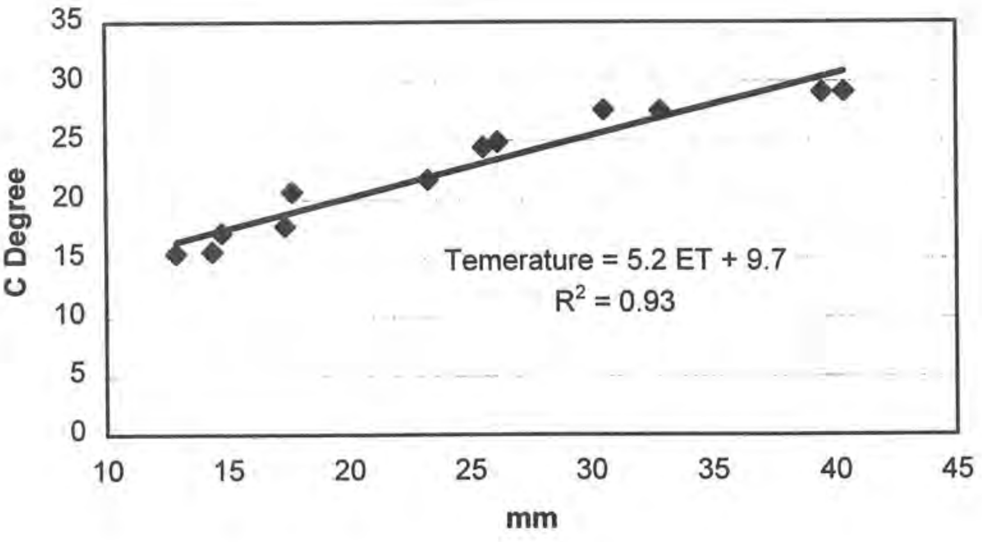


Figure 1 a. Monthly Mean Temperature and ET – Taipei

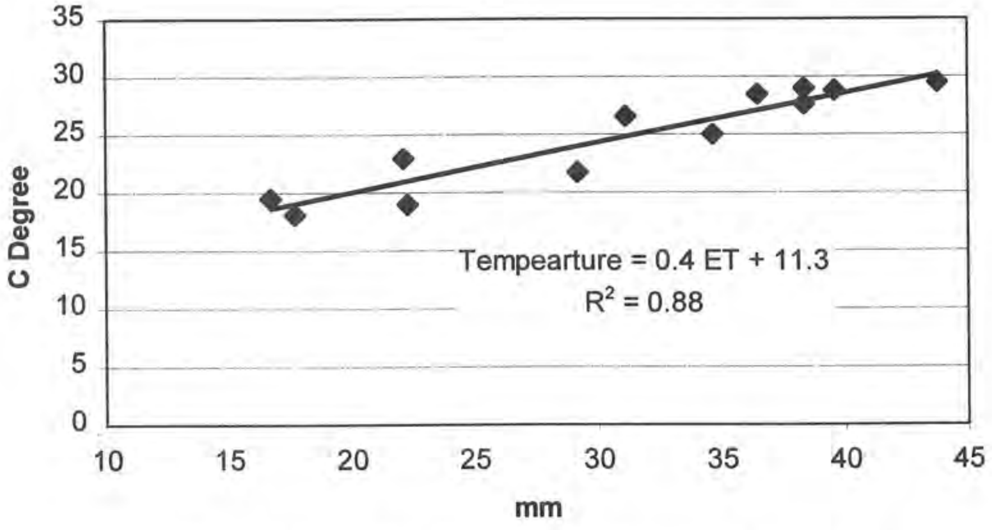


Figure 1 b. Monthly Mean Temperature and ET - Tainan

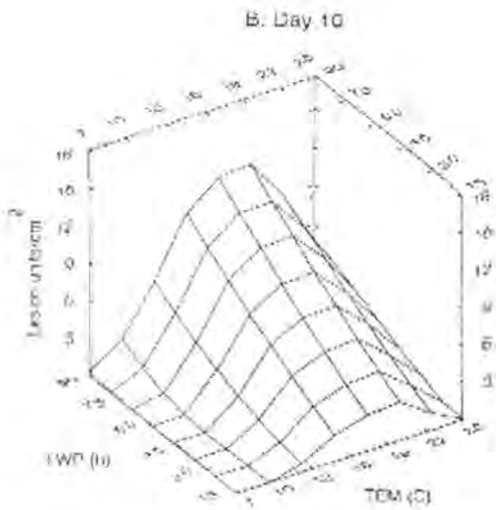


Figure 2. Lesion unit per square centimeter at day 10

4. APPLICATIONS OF PHENOLOGICAL MODELS

A Disease Model (Magboul *et al.*)

Field studies have indicated that severe outbreaks of Septoria tritici blotch of wheat are most often associated with frequent rain and high temperature during the growing season. Magboul *et al.* (1992) developed an epidemic model that can predict the severity of the disease based on forecasting temperature and moisture data. First, the observed symptoms of lesion readings on leaves over time were fitted using the logistic equation:

$$Y = \alpha_0 / (1 + \alpha_1 e^{-\alpha_2 t})$$

where Y is lesion reading cm^2 or disease severity on leaves, t is time (days) from visible symptoms, and α_0, α_1, α_2, are the coefficients of the logistic equation. The least-square estimates of these coefficients were determined by a nonlinear procedure in which the following partial derivatives were used:

$$dY/d\alpha_0 = 1 / (1 + \alpha_1 e^{-\alpha_2 t})$$
$$dY/d\alpha_1 = -\alpha_1 e^{-\alpha_2 t} / (1 + \alpha_1 e^{-\alpha_2 t})^2$$
$$dY/d\alpha_2 = \alpha_0 \alpha_1 t e^{-\alpha_2 t} / (1 + \alpha_1 e^{-\alpha_2 t})^2$$

The second step involved fitting the coefficients with weather variables: leaf wetness period (LWP, X_1) and temperature (TEM, X_2)

$$\alpha_i = \beta_{i0} X_0 + \beta_{i1} X_1 + \beta_{i2} X_2 + \beta_{i3} X_3 + \beta_{i4} X_4 + \beta_{i5} X_5$$

in which α_i (where i=0,1,2) is the estimated i^{th} coefficient of the disease equation, $X_0=1$, X_1= LWP, X_2=TEM, $X_3=LWP^2$, $X_4=TEM^2$, X_5=LWP x TEM interaction, and β's are response function coefficients.

The final step was to develop the dynamic infection model that could predict lesion reading/cm^2 or disease severity as a function of leaf wetness period, temperature, and Time (t).

$$P = (\Sigma\ \beta_{0k}\ X_k)\ /\ \{1 + (\Sigma\ \beta_{1k}\ X_k)\quad EXP[-(\Sigma\ \beta_{2k}\ X_k)^t]\ \}$$

where P is the predicted lesion reading per square centimeter or disease severity and k=0 to 5. When LWP is estimated by humidity data, the above equation can be used as a phenological model to predict the severity of the disease for a given weather condition. Figure 2 shows the predicted Lesion unit per square centimeter of leaf area as a function of temperature and leaf area wetness.

A Rice Phonological Model For Taiwan

A randomized complete block with 3 blocks experiment was conducted in Hualian Crop Improvement Station (HCIS) in 1997 to collect data of rice phenology for Tainung 67. Rice was transplanted on August 13, 1997, and plant measurements were taken biweekly until rice was harvested on December 15, 1997. Plant fresh and dry weights and leave area were measured at each sampling time and yields were taken at harvest time by the breeder, Mr. Jiunn-dwu Wang of HCIS. Ms. Jen-Yu Liang of Central Weather Bureau and Mr. Wang also supplied the corresponding weather data.

Based on the weather data and the crop sampling dates, cumulative sun shin hours (CSH), cumulative radiation (CR), and heat units (HU) were calculated. The crop and weather indexes are presented in Table 1. The heat unit that is also known as degree-days (DD), is calculated based on the method described by UC- IPM program. The maximum and minimum air temperature thresholds were set respectively at 10°C and 40°C and double triangle method, horizontal cutoff were used to calculate the area under temperature curve.

The relationships of the rice plant growth and the weather units are shown in Table 1 and Figure 3. The relationships provide some ideas on modeling the plant growth as a function of weather variables. It is clear that DD, CSH, and CR are strongly linearly related. Thus any one of these variables should be adequate in constructing a rice phenology model in Taiwan. Figure 4 shows the growth of rice plant in kg per hectare per cumulative DD. A smooth cubic model fitted the data well with the R^2 equals to 0.97. In Hualian, rice matured at around 1280 DD.

Table 1. Rice Growth and Weather Data in Hualian Station (all weights are in kg ha^{-1})

Date	Leaf Area (cm^2/hill)	Fresh Weight	Fresh Weight of Tops	Dry Weight	Dry Weight of Tops	Days After Transplant	Heat Unit (degree-day)	Cum. Sun Unit (hour)	Cum. Radiation (MJ m^{-2})
8/13/97	5.2	30	0	7	0	1	18.5	3.4	11.1
8/22/97	18.2	141	0	22	0	10	183.1	23.0	82.0
9/2/97	42.7	615	0	89	0	21	372.0	67.8	183.7
9/15/97	231.7	2993	0	452	0	34	593.1	109.7	299.3
9/26/97	321.7	4904	0	852	0	45	747.7	123.6	356.8
10/9/97	701.4	8133	0	1430	0	58	929.2	135.5	411.3
10/22/97	593.8	10600	0	1919	0	71	1120.7	157.3	474.0
11/4/97	493.1	10807	1104	2422	444	84	1280.5	185.3	538.6
11/19/97	452.7	8978	1978	1815	1015	99	1447.9	263.2	638.2
12/15/97	90.3	7430	2363	1763	1570	125	1723.6	340.5	754.5

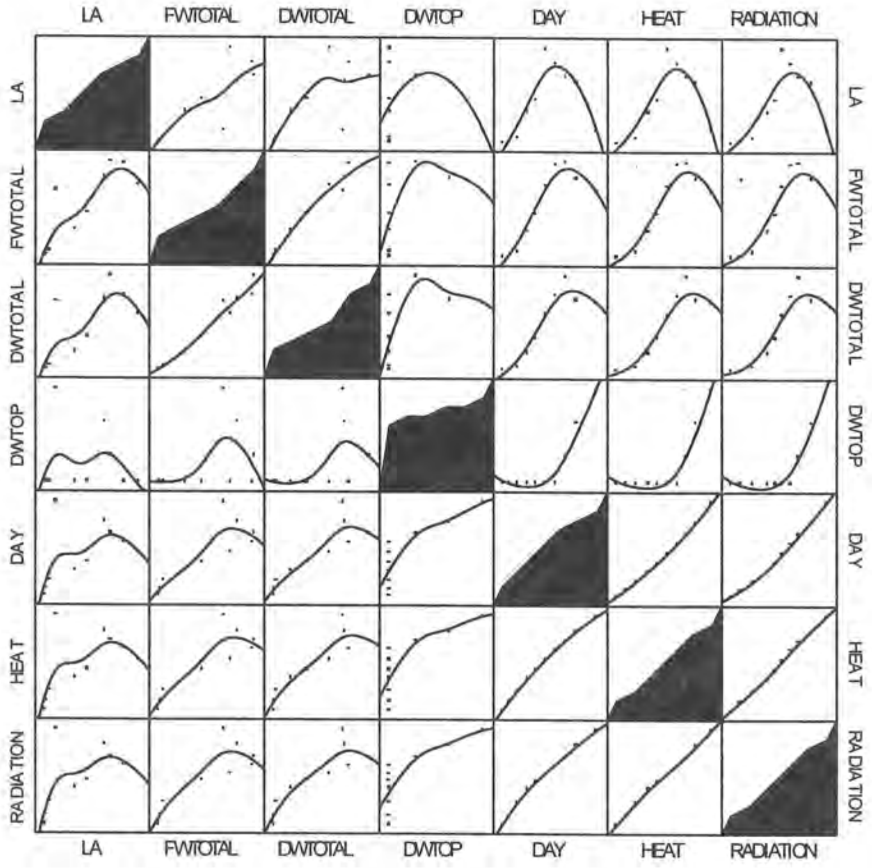


Figure 3. Relationships of Rice Phenology and Weather Parameters

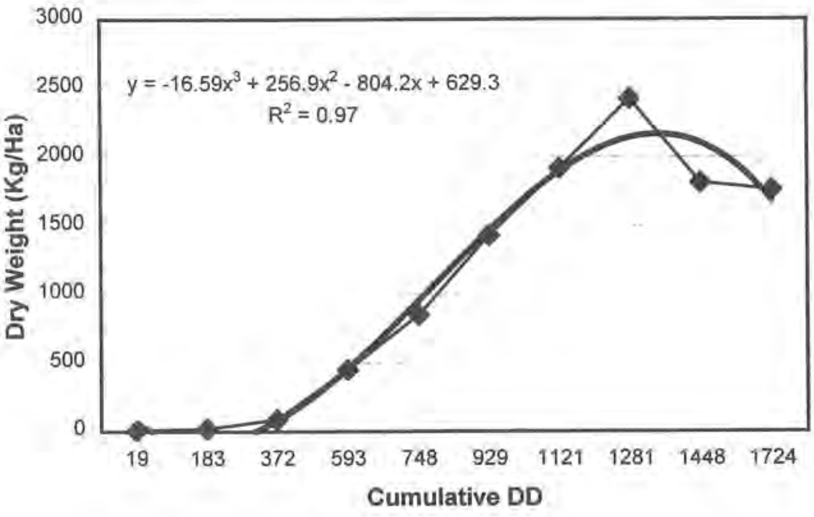


Figure 4. Rice growth (Dry Weight) as a function of Cumulative Degree Days

5. CONCLUSION

Meteorological conditions are among some of the most important factors that affect agricultural production and productivity. There are many ways the weather reports and forecasting can be used to enhance the sustainability of agricultural systems. This article introduced the approach of constructing phonological models as tools to disseminate meteorological information to either maximize the benefit of weather inputs to agriculture or to minimize the possible adverse effects. Phenological models also can be applied to predict disease breakouts so that proper measures can be taken in advance to prevent damages due to pests or disease epidemics.

6. REFERENCES

Allen, R. G., M. E. Jensen, J. L. Wright and R.D. Burman. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. Agron. J. 81: 650-662

Allen R. G. and W. O. Pruitt. 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 117(5): 758-773

Daly, C., R. P. Neilson and D. L. Phillips. 1994. A statistical- topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. Journal of Applied Meteorology 33: 140-158.

Hargreaves, G. H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. J. Irrigation and Drainage Engineering

120(6): 1132-1139

Geng, S., J. Auburn, E. Brandstetter and B. Li. 1988. A program to simulate meteorological variables: Documentation for SIMMETEO. Agronomy Progress Report No. 204. Department of Agronomy and Range Science, University of California, Davis.

Geng, S. and M. Ransom. 1995. Documentation for SIMETEO: An improved program simulates weather and evapotranspiration variables. Department of Agronomy and Range Science, University of California, Davis.

Loomis, R. S. and D. J. Connor. 1992. Crop Ecology: Productivity And Management In Agricultural Systems. Cambridge University, Cambridge, U.K

Magboul, A. M., S. Geng, D. G. Gilchrist and L. F. Jackson. 1992. Environmental influence on the infection of wheat by *Mycosphaerella graminicola*. Phytopathology 82:1407-1413.

Monteith, J. L. 1964. Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biol. 19: 205-234.

Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. A194: 220.

Pimm S. L. and A. Sugden. 1994. Tropical diversity and global change. Science 263: 933-934.

Snyder, R. L. and W. O. Pruitt. 1994. User's Guide And Program Documentation for ET. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davies.

第七章 病蟲害管理之氣象-作物模式

耿旭[1] 林民生[2] 廖志翔[2] 丁宗蘇[1] 張佑芳[2]

[1]加州大學戴維斯分校農藝及生態科學系

[2]中央氣象局第三組（應用氣象組）

摘 要

儘管近數十年來，農業技術已有驚人的進步，惟全球的農業生產和糧食的供給，卻成長緩慢；部份原因是由於不穩定之天氣型態有持續增加的趨勢。例如：1998 年大陸、宏都拉斯、尼加拉瓜所發生之洪水、颶風，遠較十九世紀者來得嚴重，此即是一明顯的例證。天然災害的發生雖無法完全地避免，但是有效的天氣預報系統若能被研發和充分加以利用的話，應可將可能發生的災害降至最低。舉例而言，在 1998 年初預測當年聖嬰現象（El Niño）顯著，美國農民依此訊息而採取調整耕種日期的因應防範措施，有效地將潛在的災害降低。台灣的農業生產豐饒，對社會和政策之安定性具有舉足輕重的影響力。因此，當前重要的課題是如何有效地利用氣候資源和天氣資訊，以增進農業生產力，並減少潛在之天然災害的發生。本文即嘗試引進生物氣候模式，修正爲適用於台灣之模式，以預測作物的生育期和病蟲害的消長情形，期望該些模式能對台灣農業生產系統的韌性和競爭力的提升有所助益。

關鍵詞：氣象-作物模式、病蟲害綜合管理。

農業氣象之應用與發展
第八章　坡地檳榔園微氣候與水文之特性
107 -124, 2001

第八章　坡地檳榔園微氣候與水文之特性

徐森雄　唐　琦

國立屏東科技大學水土保持系

摘　　要 ---------- 108

壹、前　　言 ---------- 108

貳、試區儀器及方法 ---------- 109

參、結果與討論 ---------- 112

肆、參考文獻 ---------- 122

ABSTRACT ---------- 123

第八章　坡地檳榔園微氣候與水文之特性

徐森雄　　唐　琦

國立屏東科技大學水土保持系

摘　要

本研究於南投縣水里鄉上安村內，選取檳榔園設為試驗集水區，除觀測降雨量、地表逕流外，並另外設置 6m 高氣象觀測柱，觀測全天日射量、淨輻射量、風向風速垂直分佈、溫濕度垂直分佈、地中熱傳導量、地溫垂直分佈等，除探討檳榔園之地表逕流與微氣候特性外，並進一步從氣象資料推估檳榔園之蒸發散量，以瞭解檳榔園之水文特性。

關鍵詞：檳榔園、水文、微氣候、蒸發散。

壹、前　　言

在過去數十年來，栽植面積成長率最高的作物當為檳榔，由 1963 年之 1,175 公頃增至 1989 年之 33,487 公頃，而至 1996 年時已超過 6 萬公頃，在分佈上屏東縣約佔 33%，南投縣約 20%，嘉義約 18%，花蓮台東兩縣佔約 16%。除屏東縣者外，其餘多栽植於山坡地，其中有 8,800 公頃為超限利用之坡地。

由於過去對檳榔之三不政策處理態度，致有關山坡地栽植檳榔對水土資源之影響研究著墨不多，行政院農委會雖於八十年開始推動調查研究，但迄今尚未獲得具體之定論，相關學者指出：檳榔對地力衰退影響嚴重，水分入滲率降低，致地下水位下降，且檳榔之小試區水土保持試驗結果不宜放大論述等等。因之，於檳榔園設置集水區，探討其水文特性有其實際上需要。徐森雄等(1997)在農委會補助之下於南投縣水里鄉上安村設置檳榔園集水區，從事降雨量、地表逕流量等之水文觀測，唯獨檳榔園之蒸發散量資料調查尚待進行。

國內之坡地檳榔園多數為檳榔樹純林與其他作物混植者較少，由於林相與森林全然不同而有其獨特微氣候形成過程或者熱量收支（heat budget），因此本研究於既已設置之檳榔園集水區內，另外加設微氣象觀測塔，除藉以探討檳榔園之微氣候特性外，亦可藉由微氣象資料推估檳榔園之蒸發散量，期對坡地檳榔園之水分收支有更完整之瞭解。

貳、試區儀器及方法

一、試區概況

觀測地點位於南投縣水里鄉上安村(三部巷)內，村內坡地廣植檳榔，所選定檳榔園集水區之面積 6764.27 平方公尺，試區平均坡度約 30° ，檳榔樹齡 9 年，樹高約 6-7m，設置之氣象觀測站海拔 890m ，試區土壤為黏質壤土(clay loam)，其中夾雜多量風化砂頁岩岩屑。

二、觀測儀器

(一) 地表逕流量之觀測：

本研究採用 H 型水渠之設計如下，其量水堰及其相關設備如相片一。

(1) 以 Rizrha 公式及集水區現地測量的結果，估算集水區的洪峰到達時間(tp)。

(2) 採用「水土保持手冊」中，台中 50 年再現期的時間降雨強度公式，估算集水區的時間降雨強度(I)。

(3) 利用合理化公式，取逕流係數 C=0.9 估算集水區 50 年再現期的洪峰流量(Qp)。

(4) 根據美國農業部農業研究署(USDA-ARS)不同形式 H 型水渠的特性曲線，配置 H 型水渠各部位的細部設計尺寸。

相片一：試區量水堰及其相關設備

地表逕流水水位量測乃是採用壓力式水位計，並與記錄降雨資料的自動資料擷取記錄器共用，以五分鐘為觀測時間間距，與雨量記錄一並儲存於記錄器中。該項資料與雨量資料於固定時間一併下載，攜回實驗室中，再依各壓力式水位記的律定曲線，及各H型水渠的特性曲線，進行監測基地地表逕流量的分析。

(二) 微氣候觀測：

於上述檳榔園集水區內，架設6m高之不銹鋼觀測柱，以太陽能板供電，利用自動資料擷取記錄器(automatic data logger)收錄下列各項資料:

(1) 全天日射量（6m高，EKO MF62）
(2) 風向、風速(6m及2.5m高，YOUNG）
(3) 溫、濕度（5m、3.5m及2.5m高，VISELER）
(4) 淨輻射量（2m高，NR-LITE）
(5) 降雨量（0.4m高）
(6) 地中熱傳導量（地表下5cm深，EKO MF9L）
(7) 地溫(地表下 5cm、10cm、20cm、30cm、50cm，白金電阻式溫度計)

此外，並另行委託試區鄰近居民於檳榔園旁地上放置小蒸發皿（口徑20cm），逐日觀測其蒸發量。

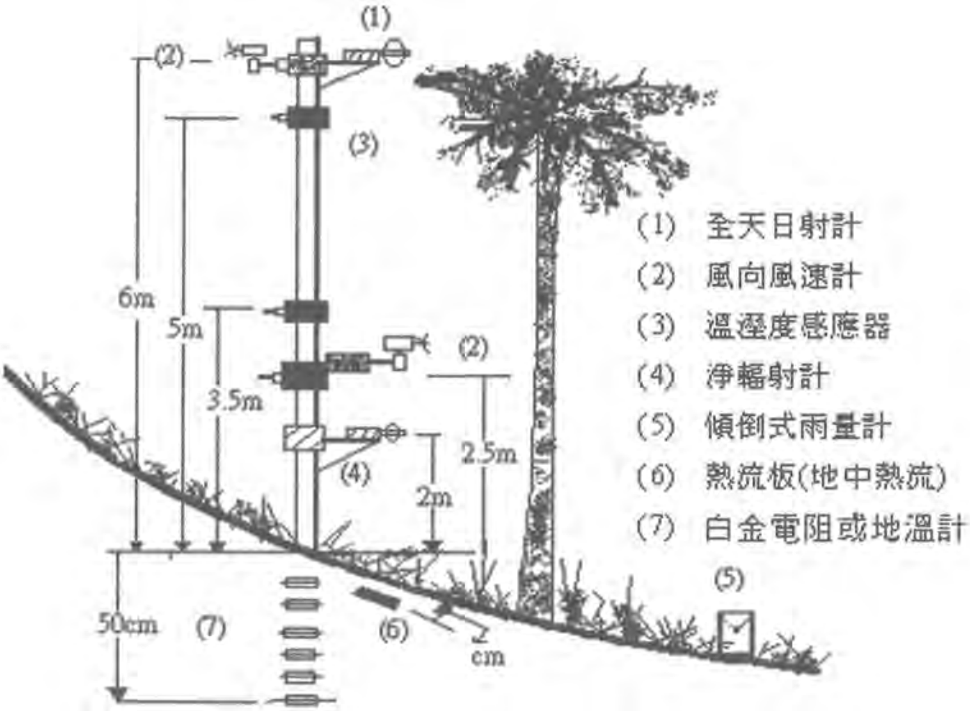


圖1：觀測儀器示意圖

三、蒸發散量之推估

1、熱收支法(heat budget method)：

植生地之熱收支可表示如下：

$$Rn = B + lE + \mathrm{L} + \mathrm{Bp} + \mathrm{Pn} \tag{1}$$

式中，Rn：植生地之淨輻射量(net radiation，Wm^{-2})

B：地中傳導之熱量(soil heat flux， Wm^{-2})

L：顯熱(sensible heat flux，Wm^{-2})

lE：潛熱(latent heat flux，Wm^{-2})

Bp：植物體所儲存之熱量

Pn:P-r_i　P：光合作用吸收之熱量　r_i：呼吸作用放出之熱量

除了森林地外，一般植生地植物體儲熱量(Bp)與純光合作用吸熱量(Pn)均甚小，可省略不計。因此由(1)導出下式：

$$L = \frac{Rn - B}{1 + 1/\beta} \tag{2}$$

$$lE = \frac{Rn - B}{1 + \beta} \tag{3}$$

β 為鮑溫比(Bowen ratio)可以下式計算之：

$$\beta = \frac{L}{lE} \approx 05\frac{T_1 - T_2}{e_1 - e_2} \tag{4}$$

$$E = \frac{lE}{l} \tag{5}$$

l：水之蒸發潛熱 (597.36-0.559T_1) (cal g^{-1})

T_1、T_2：地表上 2 個高度之氣溫(℃)

e_1、e_2：地表上 2 個高度之水蒸氣壓(mm)

2、改良彭曼模式法（modifed Penman model method）

Doorenbos and Pruitt(1997)提出下式:

$$E=\left[\frac{\Delta}{\Delta+r}\times Rn^{*}+\frac{r}{\Delta+r}\times Ea\right]\times\varepsilon$$

式中，Δ：飽和蒸氣壓曲線上，溫度 T(℃)之切線斜率(mm℃$^{-1}$)

$$\Delta=\frac{de_{sat}}{dT}=0.4456+0.2080T+0.0008T^{2}+9.5453\times10^{-6}T^{3}+1.5268\times10^{-7}T^{4}$$

r：乾濕計常數=0.67(mb℃$^{-1}$)

$$Rn^{*}=10\times\frac{R_{T}}{l}\times V_{w}$$

R_T = 淨輻射 (cal cm^{-2} day^{-1})，

l：水之蒸發潛熱(cak g^{-1})，

V_W：水之單位重體積(cm^3 g^{-1})，

E_a：大氣乾燥度 $=(e_{sat}-e_a)\times f(\mu)$ (mm day^{-1})，

e_{sat}：飽和水蒸氣壓(mb)，

e_a：水蒸氣壓(mb)，

$f(\mu)$爲E_a時之風速函數 $=0.26\times(0.5+0.54\times\mu)$，

u：2m高度之風速(m sec^{-1})，

ε:射出率 ≒1。

參、結果與討論

試區氣象儀器於 1999 年 4 月初架設，並開始記錄，爾後發現於陰雨天時，因太陽能板提供電力不足，蒐錄資料不全，經增設太陽能板後雖獲得解決，但於 2000 年 2 月以後，復因埋設之電纜迭遭野鼠為害，致維持所有觀測項目資料齊全甚為不易。因此本文分析之氣象資料僅採用 1999 年 6 月至 2000 年 1 月所收錄部分。而地表逕流量則為 1997年6月所蒐集之六場降雨量及逕流量來分析。

一、檳榔園集水區之地表逕流量：

地表逕流量觀測資料的分析，基本上包含基流分離及有效雨量的決定兩部分。基流量的分離本研究採用最單純的直接法，至於有效雨量的決定則採用 ϕ-指數法（ϕ-index）。

以檳榔集水試區而言，該集水區下游存在經常性的湧水現象，使得該集水區在降雨之後，經由地下湧出的水量會直接加

注於所量測的地表逕流中。無論該湧出水來自於地下伏流水或地下水，其所發生的時間延遲及補助量時間尺度均與地表逕流水的延遲及時間尺度不同，因此在基流的分離工作上較為困難。由於檳榔集水試區的地下伏流或湧水特性不明，導致進行退水曲線最佳趨勢迴歸，尋求中的衰退係數 k 時無法判定。

$$Q(t) = Q_0 e^{-(t-t_0)/k}$$

圖 2 至圖 7 為 1997 年 6 月之六場降雨量及逕流量之歷時變化。其逕流係數列如表 1，介於 0.5~0.85 之間，平均達 0.72。

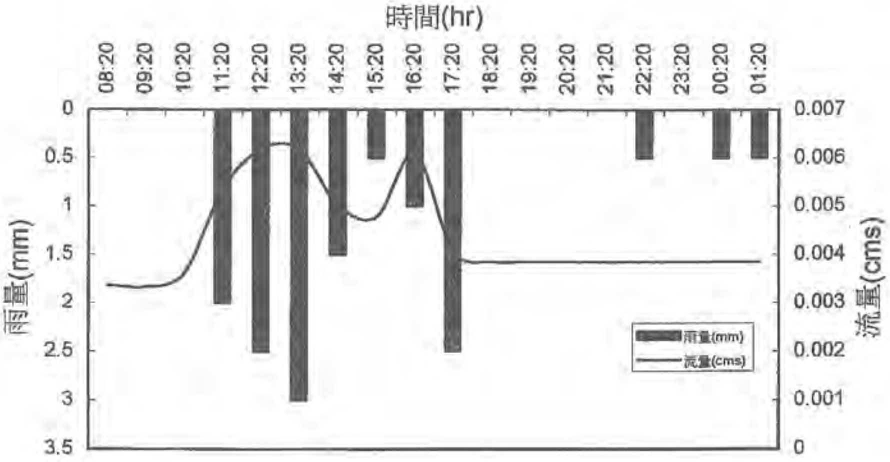


圖 2、1997 年 6 月 10 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

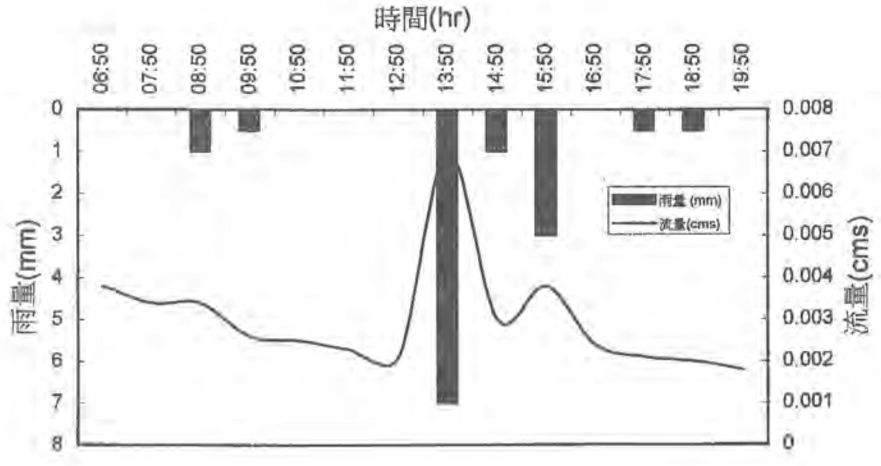


圖 3、1997 年 6 月 12 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

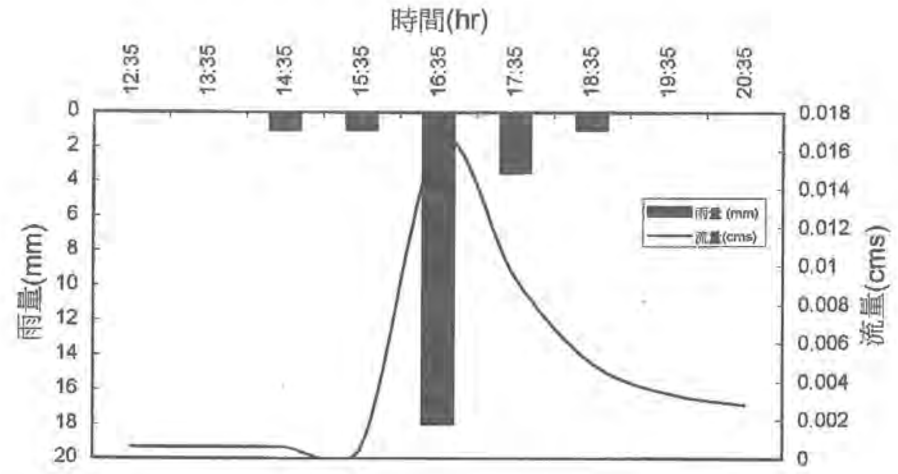


圖 4、1997 年 6 月 13 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

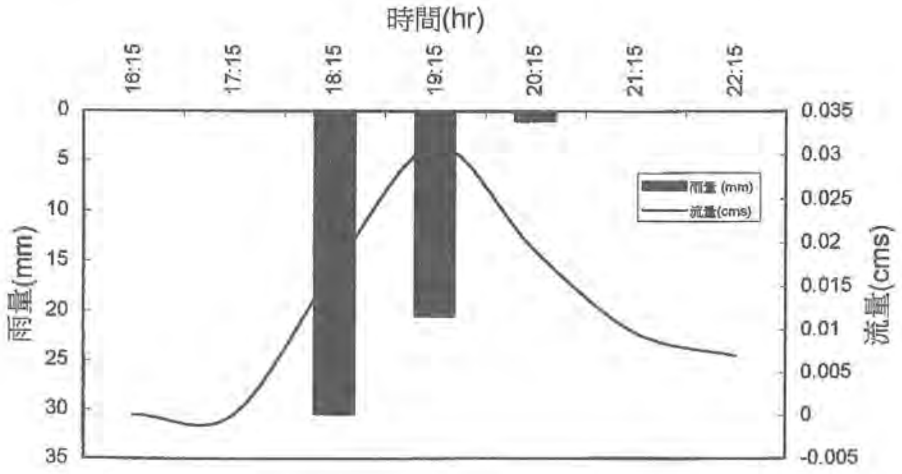


圖 5、1997 年 6 月 26 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

表 1、1997 年 6 月份六場降雨之降雨量、逕流量及逕流係數

日　期	降雨時間	降雨量(mm)	逕流量(m^3)	逕流係數
6/10/97	08:20~01:20	14.5	72.0	0.73
6/12/97	06:05~19:50	13.5	61.2	0.67
6/13/97	12:35~20:35	24.5	122.4	0.74
6/26/97	06:15~22:15	52.0	298.8	0.85
6/27/97	13:50~18:50	14.5	48.6	0.50
6/28/97	10:25~20:35	32.5	175.0	0.80

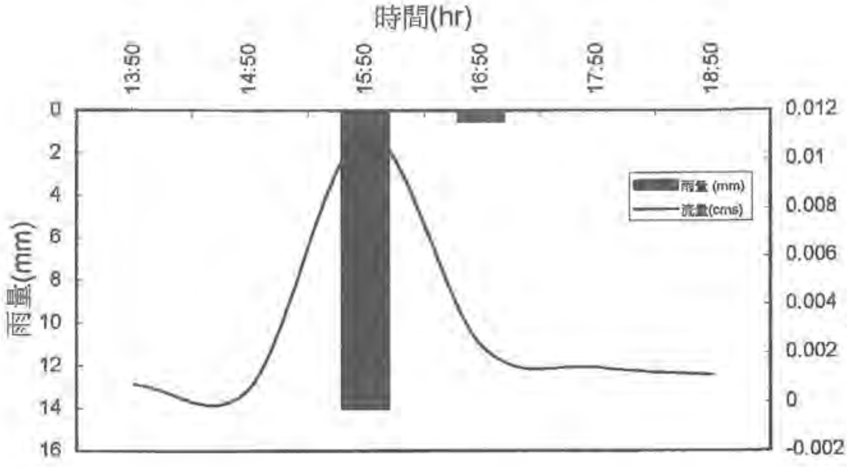


圖 6、1997 年 6 月 27 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

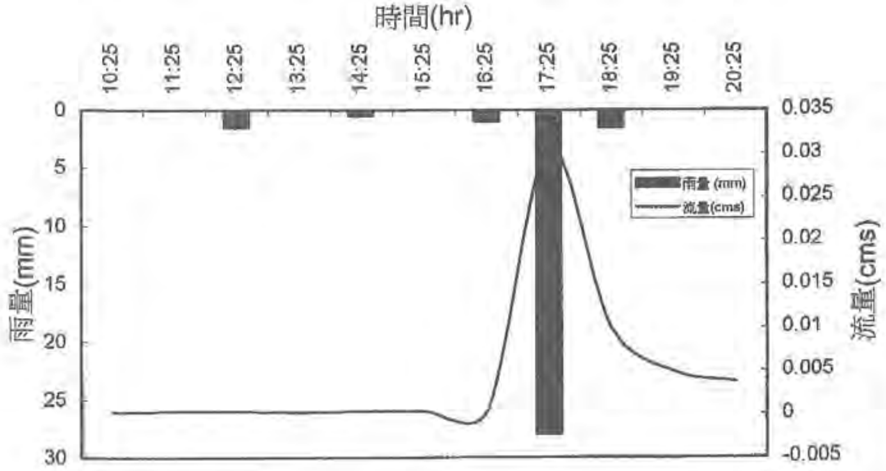


圖 7、1997 年 6 月 28 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

逕流係數反應集水區內降雨特性、地形地勢、地表植生及土地利用現況、集水區內土地滲透特性等，試區有 72%的降雨因種植檳榔且坡度較陡之故，轉變成直接逕流。再者，檳榔集水試區內經常有地下湧水現象產生，雖然可藉由旱季時對區內流水的觀測，了解地下湧水於旱季時出流量範圍，但對雨季時地下湧出水的多寡及湧水延時狀況，以目前的設置而言，難以明確量化，以致檳榔集水試區的實際逕流量再分析時甚為困難。過多的假設，尤其在基流分離上的假設，勢必直接影響逕流

係數分析的結果。

二、坡地檳榔園之微氣候特性:

1. 氣溫與溼度：就 2.5m 高度之觀測值而言，氣溫之日平均值與最高值差距不大（如圖 8 所示），在 1℃以內。溼度之日平均值夏季在 85%~90%，冬季則在 78%~84%左右。
2. 地溫：自地表下 5cm 至 50cm 深度地溫日變化，夏季約 2℃，而冬季僅在 1℃以內，觀測期間日平均之變化趨勢如圖 9，顯現夏季時日平均地溫淺層較深層者高，及至秋冬季時逐漸逆轉。

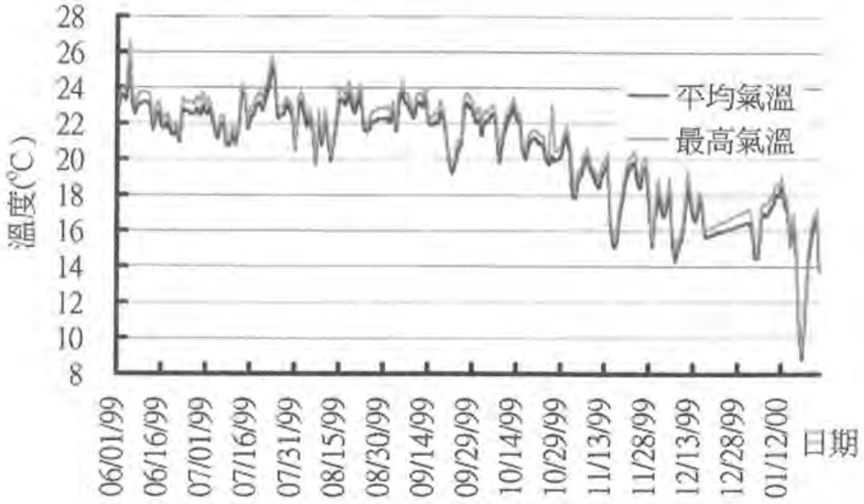


圖 8、觀測時間內地表上 2.5m 高度日平均氣溫與最高氣溫之變化。

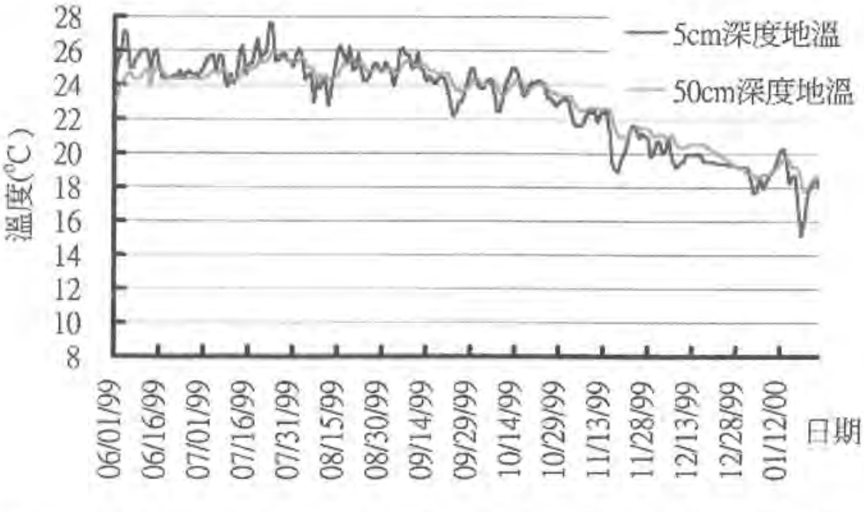


圖 9、觀測時間內地表下 5cm 深度及 50cm 深度日平均地溫之變化。

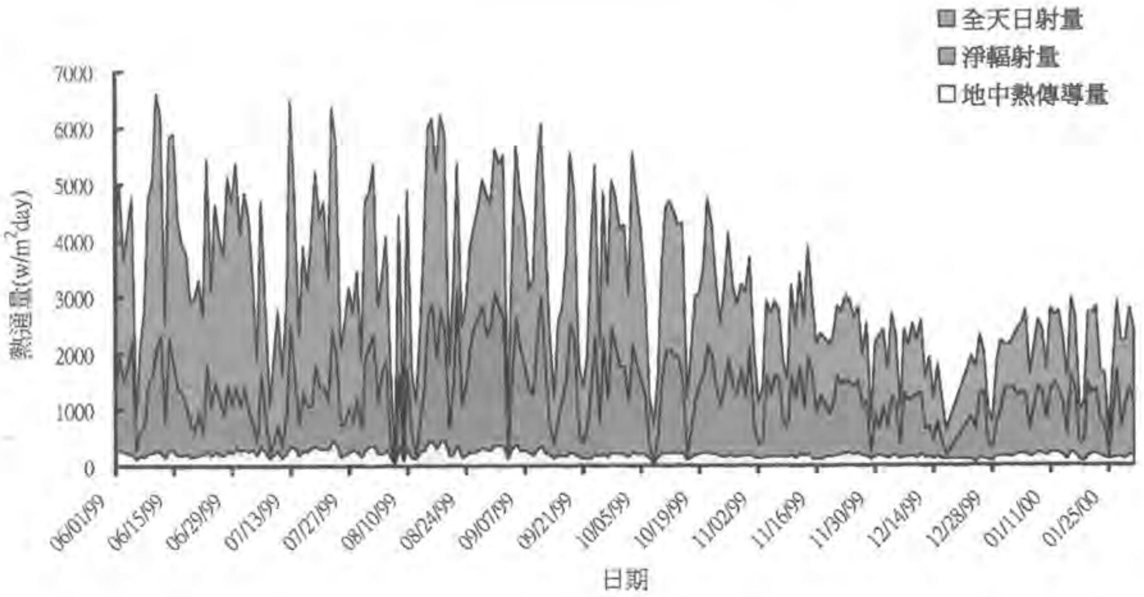


圖 10、觀測時間內全天日射量、淨輻射量、地中熱傳導量之變化。

表 2、觀測期間內全天日射量(Qs)、淨輻射量(Rn)、地中熱傳導量(B)及其比例之日平均值

月　份	Qs	Rn	B	Rn/Qs	B/Rn
1999/06	4164.1	1341.4	227.5	0.316	0.194
1999/07	3602.2	1154.7	275.0	0.310	0.277
1999/08	3862.6	1760.3	272.5	0.418	0.189
1999/09	3801.9	1633.7	222.7	0.404	0.182
1999/10	3405.2	1435.8	187.9	0.404	0.170
1999/11	2453.2	1193.2	167.9	0.471	0.167
1999/12	1873.2	866.6	140.9	0.447	0.196
2000/01	2233.7	1111.2	175.1	0.484	0.180

3. 全天日射量、淨輻射量及地中熱傳導量：觀測期間內此三者之變化如圖 10，其中全天日射量之日變化最為劇烈，再就各月份之日平均值來說，如表 2 所示，全天日射量於夏季可超過 4000Wm^{-2}，冬季則約 2000Wm^{-2}，變幅達 50%，而淨輻射量及地中熱傳導量雖亦夏多冬少，但變幅僅約 30%。淨輻射量佔全天日射量之比例由夏季之 31%至冬季之 48%兩者對應情形如圖 11；而地中熱傳導量站淨輻射量之比例約 17%~28%，兩者對應情形如圖 12 所示。

三、坡地檳榔園蒸發散量之推測

在前述熱收支法中顯熱（L）與潛熱

（*IE*）計算上所需兩個高度之氣溫及水蒸氣壓分別採用 5m 及 2.5m 者，而改良彭曼模式法中所需之氣溫及水蒸氣壓參數採 2.5m 者，2m 高度風速則由 6m 及 2.5m 高度之風速依冪次分佈方式向外延伸求得。圖 13 為 1999 年 6 月 22-23 日及 7 月 24-25

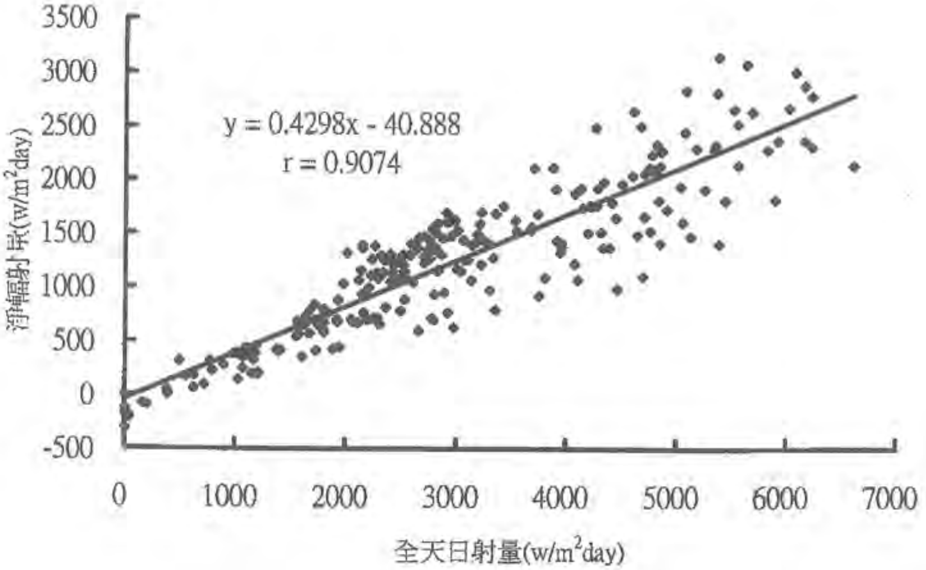


圖 11、淨輻射量與全天日射量之對應圖。

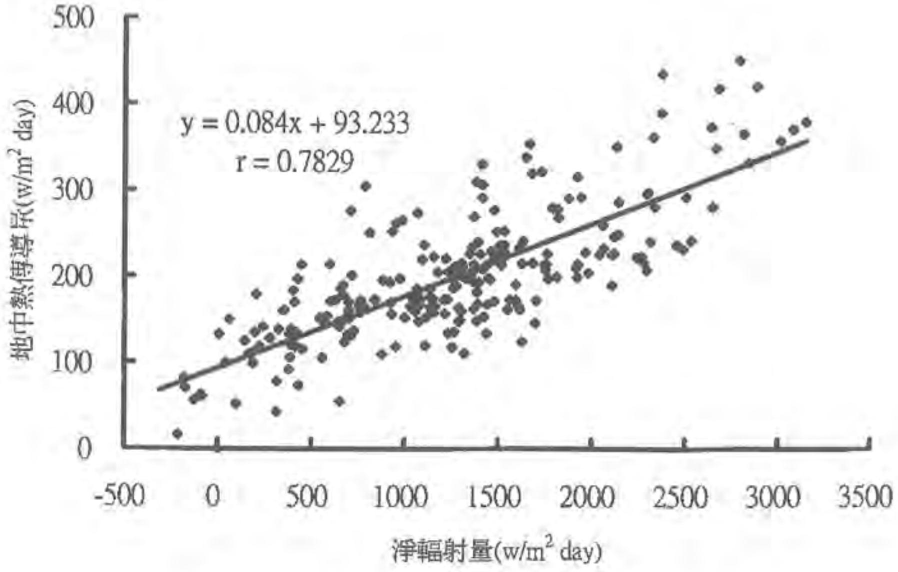


圖 12、淨輻射量與全天日射量之對應圖。

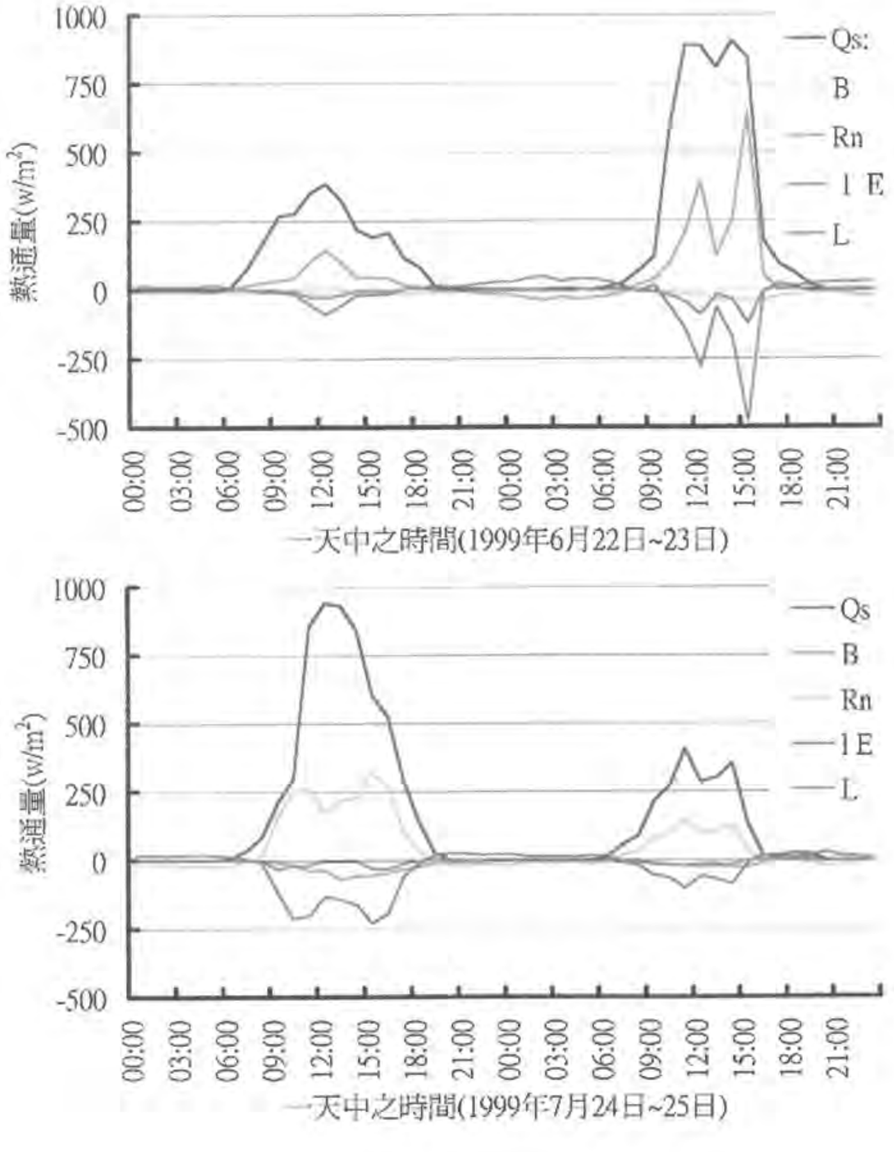


圖 13、1997 年 6 月 22 日~23 日及 7 月 24 日~25 日各熱收支項之逐時變化。
Qs：全天日射量　Rn：淨輻射量　B：地中熱傳導量　IE：潛熱　L：顯熱

日各熱收支項的逐時分佈，途中顯現即使於天氣較晴朗之日，其地中熱傳導量（B）及顯熱（L）均不大，而以潛熱（*lE*）所佔份量最大。圖 14 為觀測期間內依熱收支法及改良彭曼模式法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較。圖 15 則為在 8 個月份中，彼此最為接近，選出 1999 年 9 月做逐日蒸發散量推測值與蒸發皿蒸發量之比較。此兩圖均顯示，蒸發散量推測值與蒸發皿蒸發量之變化趨勢頗為一致。表 3 除

列出圖 14、圖 15 各點數值外，並列出熱收支法（H）及改良彭曼模式法（C）推測值對蒸發皿蒸發量（A）之比值，從表中可見 H/A 值之日變化在 0.45~1.93，長期平均值為 0.75，C/A 值之日變化在 0.47~1.53，長期平均值為 0.68。

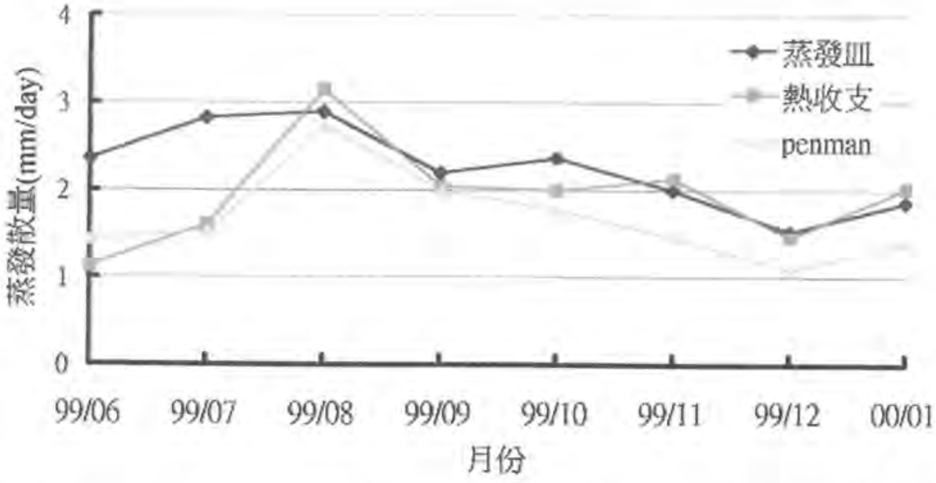


圖 14、觀測時間內依熱收支法及改良彭曼(Penman)模式法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較。

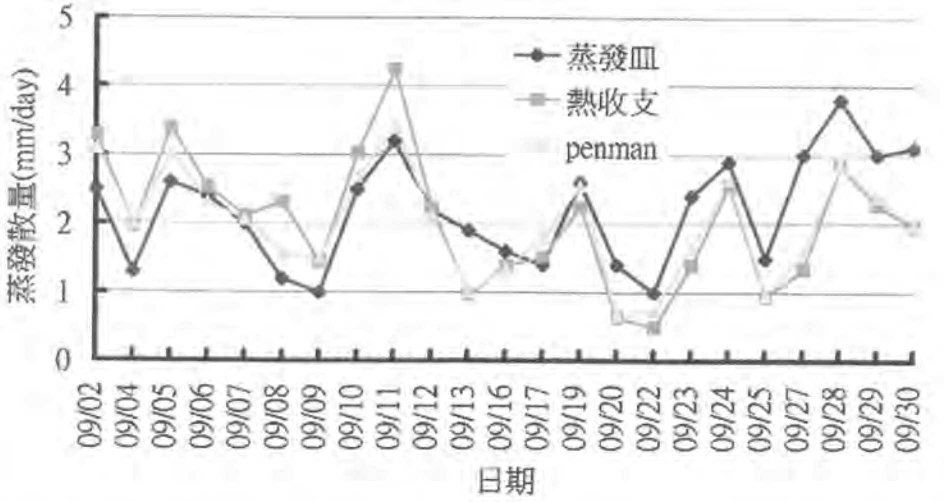


圖 15、1999 年 9 月依熱收支法及改良彭曼(Penman)模式法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較。

表 3、熱收支法及 Penman 法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較

月份	A(蒸發皿)	H(熱收支)	C(Penman)	H/A	C/A
99/06	2.36	1.13	1.43	0.48	0.61
99/07	2.86	1.60	1.53	0.57	0.54
99/08	2.90	3.15	2.74	1.08	0.94
99/09	2.20	2.04	1.99	0.93	0.91
99/10	2.36	1.99	1.77	0.84	0.75
99/11	2.00	2.13	1.45	1.07	0.73
99/12	1.53	1.46	1.08	0.96	0.71
00/01	1.86	2.02	1.39	1.09	0.75
00/02	2.12	2.36	1.49	1.12	0.70
00/03	4.10	2.39	1.71	0.58	0.42
00/04	2.73	1.74	2.09	0.64	0.77
00/05	3.80	2.07	2.83	0.55	0.75
00/06	4.94	2.78	2.95	0.56	0.60
平均	2.75	2.07	1.88	0.75	0.68

月份	A(蒸發皿)	H(熱收支)	C(Penman)	H/A	C/A
09/02/99	2.50	3.28	3.08	1.31	1.23
09/04/99	1.30	1.95	1.99	1.50	1.53
09/05/99	2.60	3.39	3.03	1.30	1.16
09/06/99	2.40	2.53	2.31	1.05	0.96
09/07/99	2.00	2.11	2.06	1.06	1.03
09/08/99	1.20	2.31	1.57	1.93	1.31
09/09/99	1.00	1.43	1.48	1.43	1.48
09/10/99	2.50	3.03	2.68	1.21	1.07
09/11/99	3.20	4.24	3.41	1.33	1.07
09/12/99	2.20	2.23	2.11	1.01	0.96
09/13/99	1.90	0.96	1.00	0.51	0.52
09/16/99	1.60	1.38	1.35	0.86	0.84
09/17/99	1.40	1.51	1.79	1.08	1.28
09/19/99	2.60	2.24	2.54	0.86	0.98
09/20/99	1.40	0.63	0.66	0.45	0.47
09/22/99	1.00	1.49	0.75	0.49	0.75
09/23/99	2.40	1.39	1.66	0.58	0.69
09/24/99	2.90	2.56	2.64	0.88	0.91
09/25/99	1.50	0.93	0.96	0.62	0.64
09/27/99	3.00	1.34	1.60	0.45	0.53
09/28/99	3.80	2.84	2.84	0.75	0.75
09/29/99	3.00	2.27	2.38	0.76	0.79
09/30/99	3.10	1.96	1.99	0.63	0.64
平均	2.20	2.04	1.99	0.93	0.91

肆、參考文獻

日本農業氣象學會。1998。農業氣象之測器與測定法，農業技術協會出版。332pp.。

吳輝龍。1998。山坡地種植檳榔對水土保持之影響。國立中興大學水土保持博士論文。172pp.。

徐森雄。1986。從熱收支推測嘉南地區之蒸發散。中華水土保持學報 17(12):54~60。

徐森雄。1987。從氣象資料推估蒸發量。中華水土保持學報 18(2)：83~89。

徐森雄。1991。從微氣象資料推估盤固草之蒸發散量。中華農會學報，新 154 期：82~93。

徐森雄。1994。農業氣象實驗方法。中華農業氣象學會出版。102pp。

徐森雄、陳蕙蕙、沈立文、陳六合。1999。從氣象資料推估奧古斯丁草地之蒸發散量。中華農業氣象 6(2)：105~112。

陳信雄。1983。森林水文學。國立編譯館出版。523pp.。

Chapter 8 Hydrological and Microclimatical Characteristics of Betel-nut Orchard on Slopeland

Sen-Hsiung Hsu and Chi Tong

Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung , Taiwan 912 , R.O.C.

ABSTRACT

The fieldwork for this study was conducted in the experimental watershed of betel-nut orchard of Shan-Ann village located in the Shuli, Nan-Tao Hsien. In addition to the measurements of rainfall and surface runoff, one set of 6m tall observation pole was installed for this study. The global solar radiation, net radiation, vertical profiles of wind speed, air temperature, ground temperature and humidity, and soil heat flux were used.to determine the microclimatic characteristics and surface runoff of betel-nut orchard. The collected meteorological data were used to predict the evopotranspiration of betel-nut orchard. These information offer a better understanding of the hydrologic characteristics of this area.

Key words: Betel-nut orchard, Hydrology, Microclimate, Evapotranspiration.

附錄　關於本書及研討會之簡介

本項研討會定名爲「農作物生產之新紀元－二十一世紀農業氣象之應用與發展」研討會，研討會名稱、內容及辦理方式係經過研討會籌備會決議進行，籌備會議於 2000 年 4 月 20 日下午二時正假行政院農業委員會農業試驗所農藝系二樓會議室召開。籌備會委員包括林俊義所長(農試所)、鄧耀宗秘書長(中華農業氣象學會)、林民生組長(中央氣象局第三組)、蔡武雄秘書(農試所)、鄭耀星技正(農委會農糧處農產科)、徐森雄學務長(國立屏東科技大學學務處)、翁仁憲教授(國立中興大學植物系)、申雍教授(國立中興大學土壤環境科學系)、及楊純明副研究員(農試所農藝系)等九位，由林俊義所長擔任主持人，楊純明副研究員擔任記錄。

會議主要決議如次；(1) 決定研討會名稱；(2) 決定研討會舉辦日期、天數及地點；(3) 決定研討會內容(講題方向)及擬邀請之講員；(4) 決定研討會參加對象及擬邀請之貴賓人選；(5) 決定研討會經費來源；(6) 決定是否收取研討會報名費；(7) 決定主題及擬邀請之主題主持人；(8) 規劃綜合/專題討論議題。其中，研討會論文輯係將專題演講之論文及相關內容彙集成書，預定研討會前編印而於當天發放。

名詞索引

Atmosphere-land surface interactions 70
Atmospheric and land-surface models 70
Atmosphere 69,70,71,72,75,77,87,88,90
Atmosphere-vegetation-soil interaction 87
Ecological system 88
Evapotranspiration model 93,97
Integrated pest management 93,94,95
Interactions 69,70,71,88
Meteorological information 95,103
One-dimensional 69,72,73,77,83
Phenology models 93,96
Parameter-elevation regression 96
Regional climate 71,88
Soil 45,46
Vegetation 69,70,71,72,75,76,77,83,84,86,87,88
Weather-driven crop models 93,94
Water resources 70,71,88,104
一級農業氣象測站 49,50,52,53,55,57,60,62
二級農業氣象測站 48,49,50,51,53,54,57,60,67
人才培訓 47,48,58
人工作業 57
土壤肥料 34,41
土壤 3,5,34,35,40,41,42,43,59,91,109
山地農業氣象觀站 60
中央電腦連線系統 48,55
文化傳承 6
反聖嬰 18,22,25,27,28,30
世界貿易組織 2,3,10,13,14,34,44
水旱田利用調整計畫 13
水資源 21,31,43,58,91
水文 5,107,108,122
生產技術 2,3,4,5
生產加工 6
生態維護 6,15
生態 1,4,6,14,19,21,34,35,44,59,91,105
地表逕流量 108,109,110,112,113,114,115
交換 11,18
交互作用 5,91
收購 2,3,11,12,13,14,15
自動作業 57
形象 2,6
社會安定 6
作物生產 1,2,3,4,5,6,34,40,59,60
災變天氣 48,59,60
改良彭曼模式法 111,118,119,120
逕流係數 109,113,114,115
使用者 35,36,37,39
坡地檳榔園 5,107,108,116,117
知識經濟 2,3,5,6,44
知識經濟時代 3,5
知識產業 5
知識工程師 35,36,37,39,40,44
肥料價格 2,3,12
服務 2,5,6,35,39,41,44,57

空氣　4,5,41,91
物理現象　5,91
物理機制　91
保價收購　2,3
信號轉換器　50,52
品質　2,3,6,15,34,35,44,48,59,60
南方震盪指數　21
南方震盪現象　18
氣候變遷　2,4,6,20,31,47,58
氣候預測　3,5,17,18,19,20,25
氣候預報　18,25
氣象觀測設備　48,50,54
氣候　2,3,4,5,6,12,18,19,20,21,22,25,30,35,40,43,48,49,57,58,59,60,91,105,107,108
氣象-作物模式　5,105
病蟲害綜合管理　105
貿易自由化　3,5,6,10,11
專家系統　3,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,44
基本流力方程式　91
創新　2,3,5,6
景觀維護　6
最佳動態平衡　6
貸款收回　11
植護保護　34,41
植物　4,5,20,34,41,43,91,111
微氣候　4,5,107,108,110,116
微氣候觀測　110
新興智慧型產業　5
感應器　50,52,53
溫室效應氣體　4
準確預測　4,18,28,29,30
農作物生產　1,2,3,4,5,6,59
農業氣象　1,2,3,4,5,6,34,43,44,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,65,67,122
農產品品質　2,6
農業經營管理效能　2,6
農業資源合理利用　2,6
農業競爭力　2,6
農業知識經濟時代　3
農業氣象科學　2,3,4,5
農業政策　2,3,5,6,59,60
農業氣象觀測網　5,43,47,48,49,51,55, 56,57,58,59,60
農業氣象資料　47,48,57,58,59
農業生產　2,3,4,5,6,18,19,30,33,34,40,41,58,59,60,105
資源保育　6
資料庫　34,35,37,39,40,41,42,43,44,57,59
資料供應作業　57
鄉村就業　6
聖嬰　5,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,105
聖嬰-南方震盪現象　18
經濟效益　5,6,17,18,25
蒸發散量　5,108,111,117,119,120,122
蒸發皿蒸發散量　119,120,121
裝設地點　48,50,53,54
預測　3,4,5,17,18,19,20,25,26,27,28,29,30,59,91,105
精準農業　2,3,6,9,60
領域專家　34,35,36,37,39,40,42,43,44
增產措施　2,3,11
徵收　11

數學模式　5,91
數值模式　91
熱收支法　111,117,119,120,121
隨機性貿易模型　17,25
整合型農業專家管理系統　5,33,34,35,42
稻米政策　5,6,10,11,12,13,14,15
稻米生產　11,14,15,18,23,25
稻米產業　5,15,17,18
環境保護　4,6
糧食安全　3,6,14,19,20,30,35
關稅暨貿易總協定　13
觀測儀器　48,50,54,58,59,60,109,110

農業氣象之應用與發展

發 行 人: 林俊義、林富雄
主　　編: 楊純明、林俊義、林富雄
出 版 者: 行政院農業委員會農業試驗所
地址/臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
電話/04-2330-2301，傳真/04-2333-6166
網址/http://tari.gov.tw
中華農業氣象學會
地址/屏東縣屏東市 900 民生路農事巷 1 號
電話/08-722-9462，傳真/08-722-5547
文字編排 / 學安文化事業有限公司
印 刷 廠: 地址/臺中市南區 402 仁和二街 78 號
電話/04-2286-1600
電子郵件信箱: shan.adsl@msa.hinet.net
出版年月: 中華民國九十年七月
版　　次: 第一版
定　　價: 新臺幣 400 元
展 售 處: 三民書局/臺北市重慶南路一段 62 號/電話 02-2361-7511
正中書局/臺北市衡陽路 20 號/電話 02-2382-1394
五南文化廣場/臺中市中山路 2 號/電話 04-2226-0330
新進圖書廣場/彰化市光復路 177 號/電話 04-725-2792
青年書局/高雄市青年一路 141 號/電話 07-332-4910

統一編號: 100902114
ISBN 957-02-8625-3

TARI LIB.
C005323
91. 5. -2

ISBN 957-028625-3
9789570286250
統一編號：1009002114
定　　價：新台幣400元